



Työterveyslaitos | Arbetshälsöinstitutet  
Finnish Institute of Occupational Health

T I E T O A T Y Ö S T Ä

# Työntekijäkohtaisen altistumisen arviointi ja vähentäminen nikkelityössä

Mirja Kiilunen  
Markku Pavela





**Työterveyslaitos** | Arbetshälsainstitutet  
Finnish Institute of Occupational Health

# Työntekijäkohtaisen altistumisen arviointi ja vähentäminen nikkelityössä

RAPORTTI TYÖSUOJELURAHASTOLLE

Mirja Kiilunen  
Markku Pavela

Työterveyslaitos  
Helsinki

Työterveyslaitos

Työympäristö

PL 40

00032 Työterveyslaitos

[www.ttl.fi](http://www.ttl.fi)

Toimitus: Mirja Kiilunen

Piirroksat: Mirja Kiilunen

© 2019 Työterveyslaitos ja kirjoittajat

Julkaisu on toteutettu Työsuojelurahaston, Boliden Harjavalta Oy:n, Boliden Kevitsa Miningin ja Nornickel Harjavalta Oy:n tuella.

Tämän teoksen osittainenkin kopiointi on tekijänoikeuslain (404/61, siihen myöhemmin tehtyine muutoksineen) mukaisesti kielletty ilman asianmukaista lupaa.

ISBN 978-952-261-876-4 (nid.)

ISBN 978-952-261-877-1 (PDF)

PunaMusta Oy, Tampere 2019



## TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa selvitettiin työntekijöiden altistumista nikkelin ja kuparin tuotantoketjussa 1980-luvulta alkaen Työterveyslaitoksen biomonitoroinnin rekisterin ja Boliden Harjavalta Oy:ssä ja Nor Nickel Harjavalta Oy:ssä tehtyjen työhygieenisten mittausten perustella arseenille ja nikkelille. Myös Boliden Kevitsan Miningin kaivostyöntekijöiden biomonitorointiloksista selvitettiin altistumisen suuntausta. Harjavallassa arseenille ja nikkelille altistuneiden henkilöiden työskentelyaika, työskentelyalue, työtehtävät ja tupakointitiedot selvitettiin mahdollisimman hyvin yritysten rekistereistä. Harjavallan työntekijöiden tiedot haettiin syöpärekisteristä ja kuolinpäivätiedot väestörekisteristä. Lisäksi selvitettiin 1980 jälkeen työskennelleiden työntekijöiden mahdolliset ammattitautiepäilyt ja ammattitautitiedot työperäisten sairauksien rekisteristä.

Tuloksista havaitaan altistumisen laskeva suuntaus kaikilla osastoilla niin arseenin kuin nikkelin suhteen. Nykyään elektroyysihallissa ilman keskimääräiset nikkelipitoisuudet ovat yli haitallisiksi tunnettujen pitoisuuksien, mutta biologisissa näytteissä ovat alle ohjeraja-arvojen. Pitoisuuksien laskemiseen on vaikuttanut tuotantoprosessien paraneminen, parantunut henkilökohtainen työhygieniä ja suojainten käyttöpakko eniten altistavissa kohteissa. Suuri merkitys on ollut ns. Harjavallan mallilla, jossa biomonitorointinäytteen tuloksen ylittäessä ohjeraja-arvon tai työpaikan asettaman tavoitetason joutuu työntekijä keskustelemaan työtavoista ja työhygieniasta esimiehen kanssa. Jos pitoisuus ylittyy uudestaan, tulee keskusteluihin mukaan työsuojelu ja myöhemmin työterveyshuolto. Näissä keskusteluissa pyritään löytämään syyt poikkeavaan altistumiseen. Mallia on kehitetty edelleen hankkeen aikana ja testattu Kevitsan kaivoksella. Tämä malli on hyödynnettävissä muillakin työpaikoilla, joilla altistutaan terveydelle vaarallisille kemikaaleille.

Altistumis- ja sairastumistietojen perusteella laskettiin syöpäkohortti osastoittain, altistumisajoittain, altistumistasoittain ja tupakointi huomioiden. Verrokeiksi valittiin saman ikäisiä ja samaa sukupuolta olevia tehtaan työntekijöitä, jotka olivat elossa syöpädiagnoosin tekohetkellä. Kohonnutta riskiä ei tässä tutkimuksessa löydetty minkään edellä mainitun tekijän suhteen.



## ABSTRACT

The study investigated the exposure of workers in a nickel production chain in the 1980s. The data from the work hygiene measurements carried out by the industrial hygienists of Boliden Harjavalta Oy and Noronickel Harjavalta Oy and data from the biomonitoring register of the Finnish Institute of Occupational Health were combined. The biomonitoring results of the workers of the Boliden Kevitsa Mining were also used to determine the trend of their exposure. The working hours, work area, tasks and smoking information of those exposed to arsenic and nickel in Harjavalta were compiled as effectively as possible from the company registers. Information on the Harjavalta employees was retrieved from the Finnish Cancer Registry, and their dates of death from the Statistics Finland register. In addition, suspicions of occupational diseases and the occupational disease records of workers who had been working since 1980 were investigated in the register of occupational diseases.

The results show a decreasing trend of exposure to both arsenic and nickel in all departments. At present, the average exposure levels that breach both air and bio-logical samples are below the concentrations of impurities in workplace air known to be harmful (HTP values) and the corresponding indicative limit values for biological exposure indicators (BEI). The reduction in these concentrations has been influenced by improved production processes and personal hygiene, as well as the forced requirement to use personal protective equipment at the most exposed sites. The so-called Harjavalta model has also had a great effect, according to which an employee whose biomonitoring sample's exposure level exceeds the BEI of urinary inorganic arsenic or nickel or the target level set by the workplace, must discuss their work situation on the sampling day with their supervisor. If the concentration is exceeded again, the occupational health service unit and safety organization must be included in the discussions. These discussions seek to find the reasons for abnormal exposure. This model has been further developed and tested at the Kevitsa mine, and other workplaces in which workers are exposed to hazardous chemicals are encouraged to use it.

Based on exposure and morbidity data, the cancer cohort was calculated by department, exposure time and level, and smoking habits. Same-age and same-sex factory workers who were alive at the time of these cancer diagnoses served as controls. No increased risk was found in terms of any of the abovementioned factors.

## SISÄLLYS

1	Johdanto.....	7
1.1	Nikkeli.....	7
1.1.1	Nikkelin kinetiikka.....	8
1.2	Arseeni.....	9
1.2.1	Arseenin kinetiikka.....	10
1.3	Työilman nikkeli- ja arseenipitoisuudet.....	11
1.4	Biomonitorointi.....	12
1.5	Kirjallisuuskatsaus.....	13
1.5.1	Nikkeli.....	13
1.5.2	Arseeni.....	13
1.6	Altistuminen ja riskinarvio.....	15
1.7	Nikkelin tuotantoprosessi.....	16
1.7.1	Kaivostoiminta.....	16
1.7.2	Kuparin tuotanto.....	16
1.7.3	Nikkelin tuotanto.....	17
2	Tutkimuksen tavoite.....	20
3	Menetelmät.....	21
3.1	Kerätyt näytteet ja näytteenottotekniikat.....	21
3.2	Ilmasta kerätyt näytteet.....	22
3.3	Suodattimien käsittely.....	22
3.4	Biologisten näytteiden keräys ja analysointi.....	23
3.5	Aineiston käsittely.....	23
4	Tulokset.....	24
4.1	Työhygieeniset mittaukset.....	24
4.1.1	Nikkeli- ja arseenipitoisuudet.....	25
4.1.2	Pölymittaukset.....	33



4.2	Biologiset mittaukset.....	34
4.3	Ilman metallipitoisuuksien ja virtsan metallipitoisuuksien välisiä riippuvuuksia...	48
4.4	Tupakointi .....	50
4.5	Työperäisten sairauksien rekisteri.....	51
4.6	Syövän esiintyminen ja tupakoinnin ja altistuksen vaikutus.....	52
4.7	Harjavallan malli.....	53
4.8	Altistuminen kaivostoiminnassa.....	55
5	Johtopäätökset .....	61
6	Jatkotoimenpiteet .....	65
	Lähteet .....	66
	Liite1 .....	73

# 1 JOHDANTO

Työntekijän altistumista työympäristössä esiintyville haitallisille yhdisteille voidaan arvioida joko työilmasta tai työntekijän biologisesta näytteestä (biomonitorointi) tehdyistä mittauksista. Työhygieenisten mittausten tarkoituksena on todeta mahdollinen työntekijän altistuminen haitalliselle kemikaalille, arvioida tästä johtuvaa terveysriskiä, henkilösuojauksen riittävyyttä ja henkilökohtaista työhygieniää. Työperäisen altistumisen viiteraja-arvot on asetettu siten, että niillä pyritään suojaamaan työntekijää terveyshaitoilta. Työhygieenisiiä raja-arvoja on asetettu sekä kemikaalien työilma- (HTP-arvot) että työntekijän veri- ja virtsapitoisuuksille (1). Biomonitorointi on Suomessa tullut yhä käytetyimmäksi riskinarviointimenetelmäksi työperäistä altistumista arvioitaessa. Se, miten hyvin ilman kemikaalipitoisuudet ja niiden vaihtelut heijastuvat työntekijän veri- tai virtsapitoisuuksiin on vielä epäselvää. Joka tapauksessa saatuihin pitoisuustuloksiin tulee suhtautua kriittisesti ja yksilökohtaista riskiä arvioitaessa tulee ottaa huomioon mitattavan kemikaalin fysikaalis-kemialliset ominaisuudet, työntekijän mahdollinen tausta-altistuminen sekä työhygienian että henkilökohtaisen suojautumisen riittävyys.

Nikkeliä ja kuparia tuotetaan Suomessa Harjavallan Suurteollisuuspuistossa sijaitsevilla nikkeli- ja kuparisulatoilla (Boliden Harjavalta) sekä niiden välittämässä läheisyydessä sijaitsevilla nikkelitehtaalla (Nornickel). Nikkeli- ja kuparirikastetta tuodaan Harjavallan sulatolle sekä kotimaassa että ulkomailla sijaitsevista kaivoksista.

## 1.1 Nikkeli

Nikkeli (Ni) on maankuoressa yleisesti esiintyvä metallinen alkuaine, jota louhitaan Suomessa pääasiassa sulfidipohjaisesta malmista. Sodankylässä sijaitsevassa Kevitsan kaivoksessa tuotetaan vajaa 10 % nikkeliä sisältävää rikastetta noin 140 000 tonnia vuodessa. Sotkamossa sijaitseva Terrafamen kaivos tuottaa bioliutusmenetelmällä vajaa 25 000 tonnia 50%:sta nikkelirikastetta vuodessa. Lisäksi Harjavallan nikkelisulattoon ulkomailta tuodun nikkelirikasteen määrä vuositasona on noin 150 000 tonnia.

Nikkelirikaste jatkojalostetaan liekkisulatusmenetelmällä 50%:a nikkeliä sisältäväksi nikkelikiveksi, jota tuotetaan Harjavallan nikkelisulatossa (BoHa) noin 48 000 tonnia vuodessa. Lisäksi nikkelikiveä tuodaan Harjavallan Nornickelin (NNH) nikkelitehtaalle noin 110 000 tonnia ulkomailta, pääasiassa Venäjältä. Nikkelikivestä jatkojalostetaan nikkelikatodeja, -brikettejä ja -kemikaaleja yhteensä noin 60 000 tonnia vuodessa.

Suurin osa Suomessa tuotetusta nikkelistä käytetään erilaisissa teräslaaduissa, metalliseoksissa, metallien päällystyksessä ja vähäisemmässä määrin akku- ja patteriteollisuudessa,



hitsaus ja juottotuotteissa sekä erilaisissa petrokemian ja elintarviketeollisuuden prosesseissa.

Työterveyslaitoksen arvion mukaan nikkelille ja sen yhdisteille altistuu Suomessa vuosittain noin 26 000 työntekijää (2). Suurimmat altistuvat ryhmät ovat nikkelisulaton ja nikkelin valmistuksen (nikkelikiven liuotus, elektrolyyttinen puhdistus, briketointi ja nikkelikemikaalien valmistus), ruostumattoman ja haponkestävän teräksen työstöä, hitsausta ja levysepan-toita tekevät työntekijät.

Hengitysteitse tapahtuvan nikkelialtistumisen on todettu olevan yhteydessä lisääntyneeseen hengitysteiden syöpään. Etenkin sulfidisten nikkelimalmien prosessointiin ja jalostukseen osallistuvien työntekijöiden keskuudessa on todettu lisääntyntä keuhko- ja poski-ontelosyöpää (3-7). Joissakin tutkimuksissa ruostumattoman teräksen tuotantoon osallistuvien työntekijöiden keuhkosyöpärisikin on todettu suurentuneen (8, 9) kun taas toisissa tutkimuksissa lisääntyntä syöpärisikiä ei ole todettu (10, 11). Tämän on ajateltu johtuvan nikkelin ja syöpärisikin välisestä kynnysarvosta (12). Toisaalta ainakin osittain suurentunut syöpärisiki saattaa johtua tuotannon alkuvaiheeseen liittyviin, jopa 1000 kertaa nykyistä korkeampiin nikkelin työilmapitoisuuksiin (13).

Kansainvälinen syöväntutkimuslaitos (IARC) on luokitellut nikkelin ja nikkeliyhdisteet ihmiselle syöpävaaralliseksi aineeksi (ryhmä 1) ja metallisen nikkelin mahdollisesti syöpävaaralliseksi aineeksi (ryhmä 2B). Luokittelu koskee nikkelin hengitystiealtistumista. Maha-suolikanavan kautta tapahtuvan nikkelialtistumisen ja kohonneen syöpärisikin välillä ei ole selvää yhteyttä (14).

### 1.1.1 Nikkelin kinetiikka

Nikkelin imeytymiseen elimistöön vaikuttaa altistumisreitit lisäksi kemikaalin vesiliukoisuus. Nikkeliyhdisteet on perinteisesti jaettu joko vesiliukoisiksi tai huonosti vesiliukoisiksi (niukkaliukoisiksi) yhdisteiksi. Toisaalta voidaan käyttää luokittelua, jossa nikkeliyhdisteet on jaettu neljään eri luokkaan: 1) liukoiset yhdisteet (esim. nikkelisulfaatti), 2) sulfidiset yhdisteet (nikkelisulfidi ja -subsulfidi), 3) nikkelioksidi ja 4) metallinen nikkeli (15, 16): Näistä kolme ensimmäistä luokkaa on luokiteltu ihmiselle syöpävaaralliseksi aineiksi (17).

Nikkelin työperäinen altistuminen tapahtuu pääasiassa joko hengitysteiden tai maha-suolikanavan kautta. Työperäinen ihon kautta tapahtuva systeeminen altistuminen on käytännössä merkityksetöntä (18, 19). Noin 30 % hengitetystä nikkelistä jää keuhkoihin ja siitä noin 20 % – 35 % imeytyy elimistöön. Absorboituvan nikkelin määrään vaikuttaa partikkelin kokoluokka, pitoisuus hengitysilmassa sekä liukoisuus (20, 21). Liukoiset yhdisteet imeytyvät lähes täydellisesti. Koe-eläimillä tehdyissä tutkimuksissa on osoitettu nikkeliyhdisteiden liukoisuuden vaikuttavan puoliintumisaikaan keuhkojen kautta tapahtuvassa altistumisessa siten, että nikkelisulfaatille se on noin 1 – 3 päivää ja nikkelisubsulfaatille noin 5

päivää (22, 23). Nikkeli ei todennäköisesti kerääny merkittävässä määrin elimistöön joutu-  
tuen tehokkaasta eritysmekanismista. Kuitenkin pieni osa nikkelistä näyttää kerääntyvän  
keuhkoihin ja paikallisiin imusolmukkeisiin (24). Koe-eläintutkimuksessa on osoitettu hit-  
saushuurista peräisin olevaa nikkeliä löytyvän keuhkoista vielä 42 päivää altistumisen lo-  
puttua (25).

Ruoansulatuskanavasta niukkaliukoisista nikkeliyhdisteistä imeytyy eri tutkimusten mu-  
kaan vain 0,1 % – 5 % (26, 27). Liukoisista nikkeliyhdisteistä voi imeytyä lähes 30 % (28).  
Nikkelin biologinen puoliintumisaika maha-suolikanavan kautta tapahtuvalle altistumiselle  
on noin 20 – 27 tuntia (29). Maha-suolikanavan kautta tapahtuvaan nikkelin imeytymiseen  
vaikuttaa etenkin ravinnon samanaikainen nauttiminen. Saman suuruisen nikkelianoksen  
imeytyminen juomavedestä tyhjän mahan kautta on noin 40 kertainen verrattuna ruoan  
yhteydessä saatuun nikkeliin. (26, 30).

Ravinnosta saatavan nikkelin määrän arvioidaan olevan 200 – 300 µg/vrk:ssa mutta jopa 1  
mg:n vuorokausiannoksia on kuvattu (24). Nikkeliä runsaasti sisältäviä ruoka-aineita ovat  
mm. palkokasvit, pinaatti, pähkinät ja tummasuklaa. Suomessa nikkelin työssään altistu-  
mattomien virtsan nikkelipitoisuudet ovat tavallisesti alle 0,05 µmol/litra.

Elimistöön imeytynyt nikkeli erittyy pääasiassa virtsaan ja vain pieni osa ulosteeseen (26).  
Maha-suolikanavaan päätynyt imeytymätön nikkeli erittyy pääasiassa ulosteisiin ja ulos-  
teen nikkelipitoisuutta voidaan periaatteessa käyttää arvioitaessa maha-suolikanavan  
kautta tapahtuvaa altistumista (13, 31).

## 1.2 Arseeni

Arseeni (As) on puolimetalli, jota esiintyy luonnostaan maankuoressa vaihtelevina pitoi-  
suuksina. Kuparin ja nikkelin jalostuksessa arseenia esiintyy etenkin kuparirikasteissa epä-  
puhtautena. Suomen ainoa kuparisulatto toimii Harjavallassa (BoHa). Sulatossa käytettiin  
80-luvulle asti niukasti arseenia sisältäviä kotimaisia kuparirikasteita, joita saatiin pääsään-  
toisesti Outokummun kuparikaivoksesta. Kaivoksen kuparimalmin alkaessa ehtyä 80-lu-  
vun loppua kohden tehtaalla siirryttiin yhä enenevässä määrin ulkomaisten arseenipitois-  
ten rikasteiden käyttöön. Nykyisin Harjavallassa sijaitsevaan kuparisulattoon tuodaan noin  
540 000 tonnia arseenipitoista kuparirikastetta, josta valmistetaan noin 150 000 tonnia ku-  
parianodia ja edelleen Porissa sijaitsevassa elektrolyysissä 139 000 tonnia 99,99 %:sta puh-  
dasta kuparikatodia. Rikasteiden sulatusprosessissa ja jatkojalostuksessa arseeni hapettuu  
arseenitrioksidiksi ja –pentoksidiksi ja vapautuu edelleen työilmaan pääasiassa pölyhiuk-  
kaseen kiinnittyneenä sekä huuruina.

Hengitysteitse tapahtuvan arseenialtistumisen on todettu useissa tutkimuksissa lisäävän  
työntekijöiden keuhkosityövän ilmaantuvuutta (32-34). Työilman arseenipitoisuuden ja al-  
tistumisen keston välillä on tutkimuksissa todettu yhteys, jossa altistumisajan

pidentyminen ja ilman arseenipitoisuuden kasvu lisäävät lineaarisesti keuhkosityöpärisiä (35). Eri epidemiologisissa tutkimuksissa on päädytty hyvin saman suuruiseen kumulatiivisen arseenialtistumisen ja syövän väliseen yhteyteen (33, 36, 37). Maha-suolikanavan kautta imeytyneen arseenin on todettu aiheuttavan keuhkosityöpää sekä virtsarakon syöpää (38-42).

Työperäisen arseenialtistumisen on voitu osoittaa aiheuttavan myös ylähengitysteiden ärsytystä, joka voi johtaa laryngiittiin, bronkiittiin tai riniittiin (43, 44) sekä olevan yhteydessä myös lisääntyneeseen diabeteksen ilmaantuvuusriskiin työilman arseenipitoisuuden tasolla  $> 0,5 \text{ mg As/m}^3$  (45), perifeerisen hermovaurion ilmaantuvuuteen (46), Reynaud-tyyppiseen oireiluun (47), ihon hyperpigmentaatioon (48) ja leukopeniaan (49).

Koholla olevan juomaveden arseenipitoisuuden on epidemiologisissa tutkimuksissa todettu olevan riskitekijä mm. lisääntyneessä karotisvaltimon ateroskleroosissa, ääreisverenkierron heikentymisessä (50), pidentyneessä sydämen QT-ajassa, verenpaineen kohoamisessa ja sepelvaltimotaudissa (51) sekä II-typin diabeteksen kehittymisessä (52, 53). Pitkäaikaisen maha-suolikanava-altistumisen tyypillisimmät löydökset ovat ihomuutokset (ihon sarveistuminen, syylämäiset muodostumat, känsät ja kovettumat sekä pigmentaatiomuutokset) etenkin kämmenissä ja jalkapohjissa (54, 55).

USA:n ympäristöministeriö (U.S. EPA,) on määritellyt arseenin haittavaikutusten kohde-elimiksi maksan, munuaiset, ihon, keuhkot sekä imusuoniston (56).

### 1.2.1 Arseenin kinetiikka

Kuparisulatoissa tehdyssä tutkimuksessa arviolta noin 40 % – 60 % työilman kautta hengitetystä arseeniannoksesta erittyi virtsaan (57). Maha-suolikanavaan joutuneesta epäorgaanisesta arseenitrioksidi ja pentoksidijakeesta imeytyy eri tutkimusten mukaan elimistöön yli 90 % (58). Arseenin imeytymisestä ihon läpi on vain vähän tutkimuksia. On kuitenkin varsin todennäköistä, että työperäinen ihoaltistuminen on käytännössä merkityksetöntä verrattuna keuhkojen tai maha-suolikanavan kautta tapahtuvaan altistumiseen. Koe-eläintutkimuksissa epäorgaanisen arseenin on todettu poistuvan nopeasti verestä kudoksiin (59, 60), ja epäorgaanisen arseenin poistumisen verenkierrossa myös ihmisellä on osoitettu olevan nopeaa (61). Arseenin metabolia tapahtuu ihmisellä pääasiassa maksassa, jossa arseeni metaboloituu pääasiassa dimetyyliarsonihapoksi (DMA) ja edelleen monometyyliarsonihapoksi (MMA). Yksilöllisellä metylaatiokapasiteetilla saattaa olla merkitystä arvioitaessa arseenin karsinogeenisyyttä yksilötasolla. Kokeellisesti on voitu osoittaa yksilöiden eroavan toisistaan sekä arseenin metaboliakyvyltään että virtsaan erittyvien arseenin metaboliittien määrän suhteen (62, 63). Maksasolujen arseenin metylaatioprosessissa on todettu jopa 10-kertaisia eroja yksilöiden välillä (64), ja suurentuneen virtsan MMA -pitoisuuden ja MMA/DMA -suhteen on osoitettu olevan merkkejä alentuneesta

metylaatiokapasiteetista (65, 66). Arseeni poistuu elimistöstä pääasiassa virtsan mukana, mutta jonkin verran erittymistä tapahtuu myös ulosteeseen. Vähäisessä määrin arseenia poistuu elimistöstä myös hien, kuivan ihon ja hiusten mukana (57, 67).

Työilman epäorgaanisten As(V) ja As(III) yhdisteiden pitoisuudet ovat virtsassa suurimmillaan välittömästi arseenialtistumisen loputtua. MMA:n maksimipitoisuus 8 tunnin ja DMA:n 20 tunnin kuluttua. Arvioidut puoliintumisaikat olivat As(V) 8 h, As(III) 12 h, MMA 20 h ja DMA 40 tuntia (68). Ilman arseenipitoisuudet korreloivat parhaiten yhteenlasketulle virtsan As(V):n ja As(III):n pitoisuudelle (68). Altistuminen arseenin ilmapitoisuudelle  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  on todettu johtavan keskimäärin  $5 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $70 \text{ nmol}/\text{l}$ ) virtsan As(III):n ja As(V):n yhteenlaskettuun pitoisuuteen (57, 68).

### 1.3 Työilman nikkeli- ja arseenipitoisuudet

Aikaisemmissa tutkimuksissa on Harjavallan nikkelitehtaalla todettu vuosina 1966 – 1988 otetuissa kiinteissä mittauspisteiden näytteissä  $0,23 - 0,8 \text{ mg}/\text{m}^3$  suuruisia työilman nikkelipitoisuuksia (69). Tämän jälkeen työilman nikkelipitoisuudet ovat olleet matalampia  $170 - 460 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (69).

Norjassa sijaitsevan nikkelisulaton työntekijöiden hengitysvyöhykkeeltä mitatut työilman pitoisuudet ovat olleet vuoden 1978 jälkeen alle  $0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ennen vuotta 1978 nikkelisulattolta on mitattu  $2 - 6 \text{ mg}/\text{m}^3$  suuruista pitoisuuksia ja nikkelielektrolyysissä  $0,15 - 1,20 \text{ mg}/\text{m}^3$ :n pitoisuuksia (70).

Kuparisulatoissa tehdyissä mittauksissa on työilman arseenipitoisuuksien todettu vaihdelleen ja olleen erittäin korkea etenkin 1930 – 1950-luvuilla pitoisuuksien vaihdelleen välillä  $0,06 \text{ mg}/\text{m}^3 - 2 \text{ mg}/\text{m}^3$  (71),  $6,9 \text{ mg}/\text{m}^3 - 20 \text{ mg}/\text{m}^3$  (72) ja  $<0,29 \text{ mg}/\text{m}^3 - >11,3 \text{ mg}/\text{m}^3$  (35).

Vuosina 1954 – 1985 Rönnskärin kuparisulaton työilman keskimääräinen arseenipitoisuus vaihteli välillä  $0,052 - 0,08 \text{ mg}/\text{m}^3$  ja vuonna 2005 välillä  $0,005 - 0,15 \text{ mg}/\text{m}^3$  (73).

Harjavallan kupari- ja nikkelisulaton työilman arseenipitoisuudet ovat laskeneet viimeisten 20 vuoden aikana tuotantoprosessien kehittymisen ja prosessikaasujen paremman talteenoton myötä. Toisaalta sulatossa on siirrytty käyttämään kuparirikasteita, joiden arseenipitoisuus on ollut ajoittain poikkeuksellisen korkea. Harjavallan kuparisulaton toiminta-periaatteena on prosessissa pölysuodattimille kerääntyneen arseenin kierrättäminen syötöseoksen kautta uudelleen prosessiin. Arseenin poistuminen sulatusprosessista tapahtuu ainoastaan pesuhapon, kuonan ja elektrolyysin kautta.

## 1.4 Biomonitorointi

Työhygieenisillä mittauksilla selvitetään työilmassa esiintyvän aineen pitoisuustasoja sekä mitattavan aineen paikallisia ja ajallisia vaihteluita (SFS EN 689:2018). Työilman kemikaalipitoisuuden mittaaminen ja biomonitorointimenetelmistä kemikaalien tai sen aineenvaihduntatuotteen mittaaminen virtsasta ovat yleisimmin käytetyt työntekijäkohtaista altistumista ja altistumisen kehitystrendiä kuvaavista menetelmistä (74).

Biomonitoroinnilla tarkoitetaan kemikaalien tai niiden aineenvaihduntatuotteiden mittaamista biologisesta näytteestä, työterveyshuollossa tavallisimmin verestä tai virtsasta. Sen tarkoituksena on arvioida työntekijän altistumista haitalliselle kemikaalille ja siten myös henkilösuojauksen ja työhygienian riittävyyttä.

IPCS (Internation Program of Chemicl safety) ryhmittää biomarkkerit kolmeen eri luokkaan (75). Altistumisen biomarkkerilla tarkoitetaan kemikaalia tai sen metaboliittia, jota voidaan mitata biologisesta näytteestä. Vaikutuksen biomarkkerilla on elimistöstä mitattava biokemiallinen, anatominen tai käyttäytymisen muutos. Herkkyyden biomarkkeri osoittaa yksilön perityn herkkyyden tietyille kemikaalille/kemikaaleille (ksenobiootille).

Biomonitoroinnin ohjeraja-arvot on asetettu siten, että niillä pyritään huomioimaan työntekijän ylimääräinen – työstä johtuva – altistuminen tausta-altistumisen lisäksi. Yksittäisillä mittauksilla ei saada riittävän luotettavaa kuvaa työpaikalla tapahtuvasta turvallisesta työskentelystä vaan tarvitaan useampia mittauksia, tietoa mittaustulosten ajallisesta vaihtelusta osasto-, ryhmä- ja työntekijäkohtaisesti sekä tietoa altistumisreitistä. Mittaustiedon hyödyntämisen edellytyksenä on tiedot prosessista ja tuotannon tasosta sekä mahdollisista tuotantoon vaikuttavista häiriötekijöistä mittaushetkellä. Lisäksi luotettavan työperäisen riskin arvioinnin edellytyksenä on syys-seuraussuhteen osoittaminen terveysvaikutuksen ja tietyn kemikaalin altistumisen välillä. Biomonitoroinnilla pyritään tätä työntekijän altistumista – kemikaalin sisäistä annosta – osoittamaan.

Kemikaaliriskin arvioinnin tulee perustua vaaran tunnistamiseen, altistumisen ja annosvasten arvioinnin sisältävän kokonaisuuden hallintaan.

Elimistöön päätyvän nikkelin ja arseenin määrää voidaan arvioida virtsapitoisuuksien perustella. Työterveyslaitoksen ohjeiden mukaan nikkelin ja arseenin biomonitoroinnin tulee tapahtua heti altistavan työvaiheen/työvuoron päätyttyä ja altistumisjakson loppupuolella. Näytteenoton ajankohta, virtsan suhteellinen tiheys ja näytteenotossa tapahtuva kontaminaatio ovat merkittävimmät tutkimuksen virhelähteet. Virtsassa olevan kemikaalin pitoisuus osoittaa elimistöön päätyneen kemikaalien määrän kaikkien altistumisreittien kautta.

Suomessa on vuoteen 1983 käytetty menetelmää, jossa on mitattu virtsan kokonaisarseenipitoisuutta, jolloin tuloksessa ovat mukana myös ravinnosta peräisin olevat orgaaniset arseeniyhdisteet. Vuoden 1983 jälkeen virtsan arseenipitoisuus on määritetty laskemalla

yhteen virtsan epäorgaanisten arseeniyhdisteiden (As(III) ja As(V)) määrä, jonka on todettu korreloivan paremmin työilman arseenipitoisuuksien kanssa (68).

Tulevaisuudessa olisi tarve kehittää biomarkkereita, jotka perustuisivat todelliseen annosvaikutuksen arviointiin ja/tai biologisen haittavaikutuksen varhaisvaiheen osoittamiseen.

## 1.5 Kirjallisuuskatsaus

### 1.5.1 Nikkeli

Työilman nikkelipitoisuuden ja työntekijän virtsapitoisuuden välillä on sekä todettu että ei ole todettu olevan korrelaatiota (Taulukko 1) ja toisaalta osassa tutkimuksissa on todettu ryhmätason korrelaatio (13, 76-82). Ulosteen korkeat nikkelipitoisuudet viittaavat maha-suolikanavan kautta tapahtuneeseen altistumiseen esim. kontaminaatioon käsien kautta.

### 1.5.2 Arseeni

Harjavan kuparisulatolla 1983 tehdyssä tutkimuksessa kehitettiin menetelmä, jossa työperäistä arseenialtistumista kuvastaa virtsan epäorgaanisten arseeniyhdisteiden (As(III), As(V)) yhteenlaskettu pitoisuus (68). Samassa tutkimuksessa työilman ja virtsan epäorgaanisten arseeniyhdisteiden pitoisuudelle saatiin korrelaatio, jossa työilman  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  arseenipitoisuus vastaan  $70 \text{ nmol/l}$  virtsan epäorgaanisten arseeniyhdisteiden yhteenlaskettua arseenipitoisuutta. Tässä tutkimuksessa virtsan arseeninäyte otettiin samanaikaisesti mitaukseen osallistuvan työntekijän työilman hengitysvyöhykepitoisuuden määrittämisen kanssa (68). Samanlaisen tulokseen päädyttiin kahdessa muussa kuparisulatossa tehdyssä tutkimuksessa (57, 83).

Käsien kautta tapahtuvaa työperäistä arseenialtistumista on kuvattu rikkihappotehtaalla tehdyssä tutkimuksessa (84).

*Taulukko 1 Kirjallisuudessa esitetyt nikkelialtistumiset*

Tutkimus	Kemikaali	hengitys- suojain	Tupakoinnin vaikutus	korrelaatio	Muuta	Ni µg/m <sup>3</sup>
Hassler ym. 1983 (13)	patterituotanto, nikkelihydroksidi, huonosti liukoinen	ei	ei	ryhmätasolla	45 % alveolijaetta	8 – 132 32 keskiarvo
Tola ym. 1979 (77)	galvanonti, liukoinen	ei	n.a	yksilötasolla	Osa vesiliukoisesta nikkelistä mahdollisesti kumuloituu 30 – 160	
Roels ym. 1993 (78)	sähkövastusten tuotanto, nikkelioksidi	ei	ei tutkittu	ei		0,5 – 9586, 22,9 keskiarvo, kokonaispöly, 0,2 – 332, 3,5 alveolijae
Kiilunen ym. 1997 (76)	galvanonti, liukoinen	ei	ei	ei	Osa vesiliukoisesta nikkelistä mahdollisesti kumuloituu	
Yokota ym. 2007 (79)	patteritehdas, nikkelihydroksidi	kyllä	n.a	ei	hengitysvyöhykemittaus	

Tutkimus	Kemikaali	hengitys- suojain	Tupakoinnin vaikutus	korrelaatio	Muuta	Ni µg/m <sup>3</sup>
Morgan ja Rouge 1984 (82)	nikkelitehdas, huonosti liukeneva	kyllä/ei	n.a	ryhmätasolla	Hengityssuojainta käyttävien virtsan nikkelipitoisuudet olivat noin ¼ siitä mitä ilman nikkelipitoisuudet olisivat antaneen olettaa.	
Oliveira ym. 2000 (80)	galvanointitehdas, nikkelisulfaatti	ei	ei vaikutusta	kyllä		2,8 – 116,7
Sunderman ym. 1986 (81)	nikkelisulfaatti, nikkelikloridi, nikkelioksidi, nikkelisubsulfidi			kyllä sekä liukoisille että huonosti vesiliukoisille		



## 1.6 Altistuminen ja riskinarvio

Työterveyshuollossa riskinarvioinnilla tarkoitetaan prosessia, jolla pyritään arvioimaan työympäristössä esiintyvien haitallisten aineiden aiheuttamaa terveydellistä riskiä (85). Työhygieenisen riskinarvioinnin lähtökohtana on lähes aina yksittäisen työntekijän altistumisen arviointi, joka perustuu mm. työpaikalla tehtyihin työhygieenisten mittausten tuloksiin. Työpaikkakohtaista altistumista arvioitaessa tulee huomioida mm. altistuvien työntekijöiden määrä, altistumisreitti (hengitystie, iho, maha-suolikanava), kuinka usein altistumista tapahtuu, ympäristössä esiintyvän kemikaalin pitoisuus ja huippupitoisuudet, kemikaalin fysikaalis-kemialliset ominaisuudet (mm. partikkelikoko, liukoisuus, kemiallinen muoto) ja työympäristön ominaisuudet (lämpötila, kosteus, ilmanvaihto). Yksilötasolla altistumisen suuruuteen vaikuttavat etenkin henkilökohtainen työhygieniä ja käytetyt henkilösuojaimet.

Työperäisen kemikaalialtistumisen on perinteisesti ajateltu johtuvan pääasiassa hengitysteiden kautta tapahtuvasta altistumisesta (86, 87), jolloin pölyhiukkasissa tai huuruissa esiintyvä kemikaali päätyy hengitysteiden kautta elimistöön. Maha-suolikanavan kautta tapahtuvaa altistumista on pidetty merkityksettömämpää, koska mm. useat metallit imeytyvät maha-suolikanavasta huonosti tai niiden imeytyminen on rajoittunutta ja mm. nikkelin on osoitettu olevan karsinogeeninen vain hengitysteiden kautta tapahtuvan altistumisen kautta (17). Arseenin kohdalla tilanne on toinen, koska arseenin on osoitettu olevan terveydelle haitallinen myös maha-suolikanavan kautta tapahtuvassa altistumisessa. Maha-suolikanavan kautta tapahtuvan altistumisen on ajateltu johtuvan pääasiassa neljästä eri mekanismista (88)

- 1) hengitysteihin jääneiden partikkelien kulkeutuminen nielun kautta maha-suolikanavaan mukosilaaritoiminnan johdosta,
- 2) käsien tai esineiden kautta suuhun tai suun ympäristöstä (perioraalialueelta) tapahtuvasta kemikaalin kulkeutumisesta maha-suolikanavaa,
- 3) työpaikalla syötyjen kontaminoitujen elintarvikkeiden kautta ja
- 4) passiivisesti suun ympäriltä kulkeutuvan pölyn päätyessä suuhun esim. hikoilun yhteydessä ja suoraan prosessista tapahtuneiden roiskeiden joutuessa suuonteloon.

Tällä hetkellä ei kuitenkaan ole olemassa luotettavia menetelmiä pelkästään maha-suolikanavan kautta tapahtuvan työperäisen altistumisen osoittamiseksi.

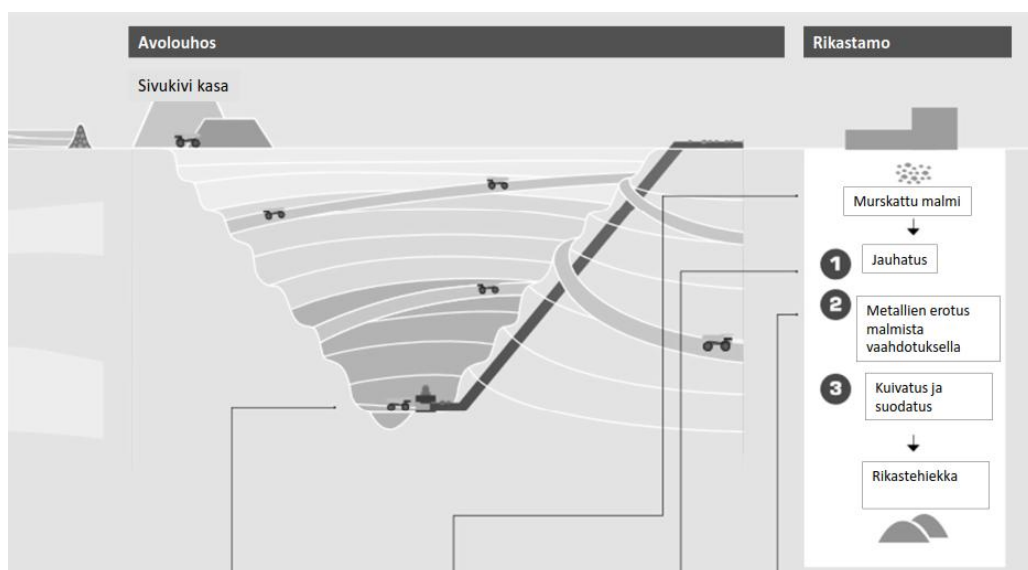
Samaa työtä tekevien työntekijöiden altistumisessa on todettu vaihtelua mm. Yhdysvaltalaisessa tutkimuksessa, jossa vain osa työntekijöiden välisen tai työntekijäkohtaisen altistumisen välisistä eroista selittyi prosessi, työympäristö tai tehtäväkohtaisilla syillä. Noin 30 %:lla samaa työtä tekevistä altistuminen vaihteli jopa yli 10-kertaisesti (89). Näyttää siis

siltä, että henkilön käyttäytyminen on tärkein yksittäinen tekijä, joka määrittää sekä kokonaisaltistumista että vaihtelua altistumisreittien välillä. Päätelmää tukee myös lähes 60 tutkimuksen kirjallisuuskatsaus, jossa todettiin yksilöllisen työntekijäkohtaisen altistumisen vaihtelun olevan jopa suurempaa kuin työntekijöiden välisen vaihtelun (90).

## 1.7 Nikkelin tuotantoprosessi

### 1.7.1 Kaivostoiminta

Kevitsan avolouhos sijaitsee Sodankylässä. Kaivos ja rikastamo otettiin käyttöön vuonna 2012. Malmirikastetta toimitetaan Bolidenin Harjavallan sulatolle. Rikaste sisältää nikkeliä, kuparia, kultaa, platinaa ja palladiumia. (Kuva 1.)

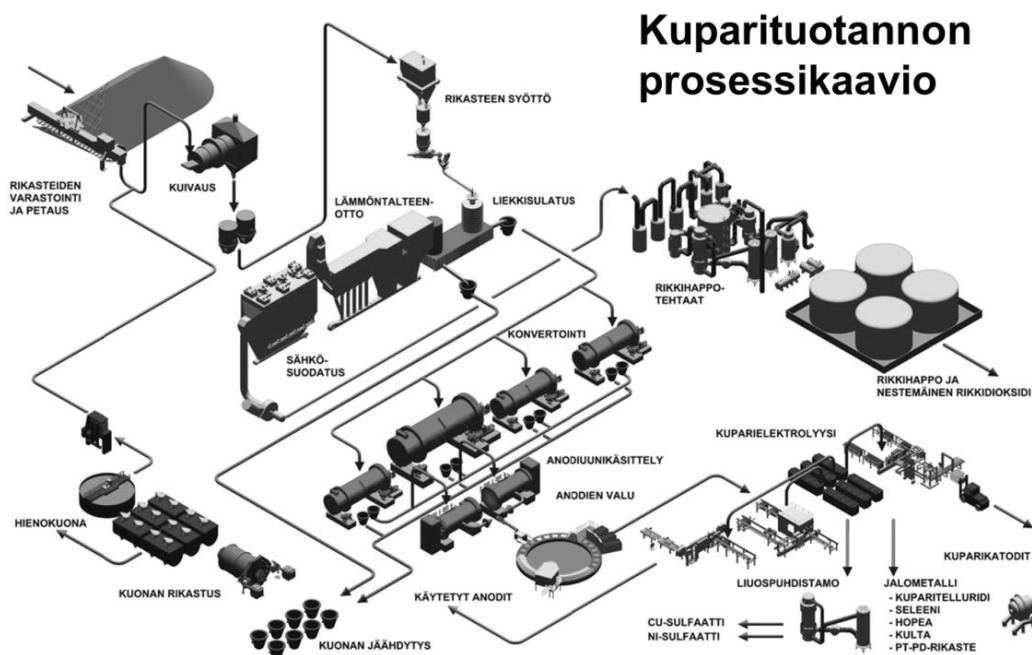


Kuva 1. Kevitsan avolouhoksen prosessikaavio (Boliden Annual and Sustainability Report 2018). Suomennettu kuvatekstit.

### 1.7.2 Kuparin tuotanto

Kuparin tuotanto tapahtuu Bolidenin Harjavallan ja Porin tehtailla. Kuparianodien ja -kattodien lisäksi tehtailla tuotetaan jalometalleja, nikkeli- ja kuparisulfaattia sekä rikkihappoa. (Kuva 1)

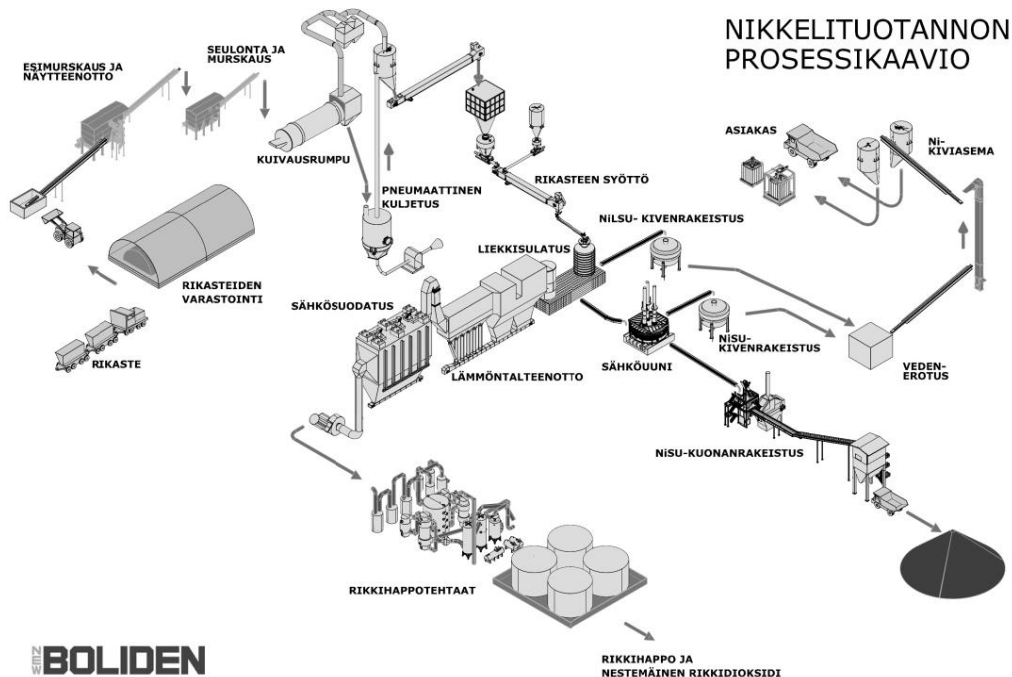
Kupari on erittäin korroosionkestävää ja helposti muokattavaa, hyvin sähköä ja lämpöä johtavaa ja sillä on myös antibakteerisia ominaisuuksia. Se on kierrätettävä metalli. Kuparin suurimmat käyttökohteet ovat sähkötekniset ja elektroniset laitteet, rakennukset, putket, johdot, kaapelit ja kolikot.



Kuva 2. Prosessikaavio kuparintuotannosta (Boliden Harjavalta Oy).

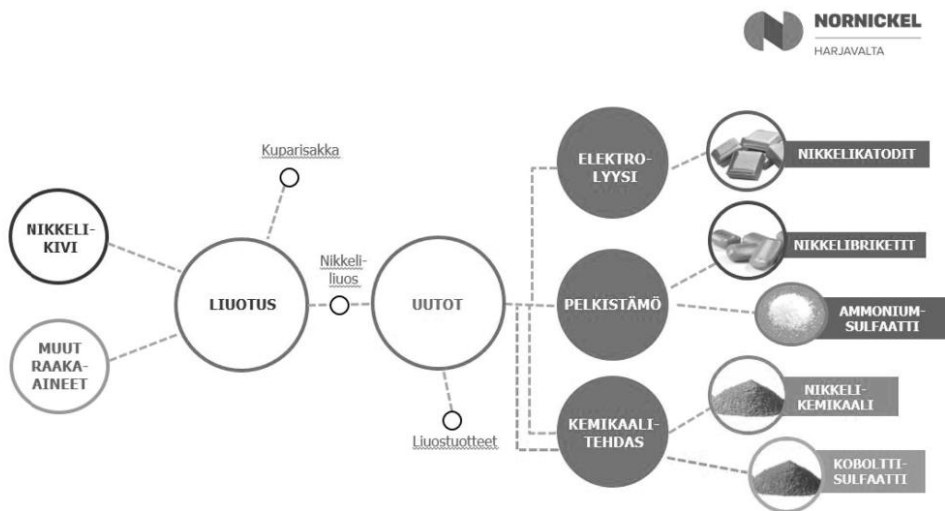
### 1.7.3 Nikkelin tuotanto

Bolidenin Harjavallan nikkelisulatto on Länsi-Euroopan ainoa nikkelisulatto. Raaka-aineina käytetään kierrätysmetalleja ja rikasteita, jotka ovat peräisin pääasiassa Bolidenin Kevitsan ja Kylylahden kaivoksilta sekä ulkopuolisilta kaivoksilta (Kuva 3.).



Kuva 3. Nikkelsulatteen tuotantoprosessi (Boliden Harjavalta Oy).

Nornickel Harjavalta Oy tuottaa metallista nikkeliä, nikkeli- ja kobolttikemikaaleja. Hydro-metallurgisissa osaprosesseissa jatkojalostetaan nikkelikiveä, nikkelisakkoja ja erinäisiä sekundäärisiä raaka-aineita. Prosessi koostuu raaka-aineen jauhatuksesta ja liuotuksesta rikkihapon ja hapen avulla. Uuttoprosessissa poistetaan koboltti ja muut epäpuhtaudet kuten kupari, sinkki, rauta ja mangaani, jonka jälkeen puhdas nikkelsulfaattiliuos siirtyy pelkistämöön (nikkelibriketit), elektrolyysiin (nikkelikatodi) ja nikkelikemikaalien valmistukseen (nikkelsulfaatti, -hydroksidi ja -hydroksikarbonaatti). (Kuva 4.)



Kuva 4. Nikkelin elektrolyyttinen puhdistusprosessi (Nornickel Harjavalta).



## 2 TUTKIMUKSEN TAVOITE

Työntekijöiden nikkeli- ja arseenialtistumista on tutkittu Työterveyslaitoksessa 1980- luvulta alkaen virtsan nikkeli- ja arseenipitoisuuksien avulla. Harjavallassa on lisäksi tehty työhygieenisia mittauksia, joita ei ole laajassa mittakaavassa yhdistetty biologiseen altistumismittaustietoon. Tutkimuksen tavoitteena oli:

1. tuottaa tietoa työntekijäkohtaisesta nikkeli- ja arseenialtistumisesta tuotantoprosessin eri vaiheissa arvioimalla korrelaatioita työilman nikkeli- ja arseenipitoisuuden, eri nikkeliyhdisteiden ja tupakoinnin sekä työntekijän virtsan ja arseenin nikkelpitoisuuden (biomonitoroinnin) välillä.
2. arvioida biomonitoroinnin käyttökelpoisuutta työntekijä- ja ryhmäkohtaisessa nikkeli- ja arseenialtistumisesta sekä työperäisen altistumisen riskinarvioinnissa. Arvioida arseenin ja nikkelin työilmapitoisuuksien ja biomonitorointitulosten kehitystrendiä mittausajanjaksolla.
3. selvittää, poikkeako ammattitautiin tai syöpään sairastuneiden altistumisaika, altistumistaso, tupakointi verrokkien vastaavista arvoista ja voidaanko todeta kohonnuttu evidenssiä näiden tekijöiden suhteen.
4. parantaa ja testata ns. Harjavallan mallia, jossa puututaan altistumiseen biomonitorointituloksen ylittäessä toimenpiderajan.

### 3 MENETELMÄT

Tutkimuksessa koottiin Harjavallan nikkeli- ja kuparisulaton sekä nikkelitehtaan työhygieeninen aineisto (nikkelin ja arseenin työilmapitoisuus; As N=1465, Ni N=4816, työssä oloajat, työskentelypaikat, tupakointitiedot) ja yhdistettiin se Työterveyslaitoksen biomonitoroinnin aineistoon (nikkeli- ja kuparisulatossa sekä nikkelitehtaassa nikkelille ja arseenille altistuneet työntekijät vuosilta 1980 – 2018; virtsan nikkeli- (N=3232) ja arseenimittaukset (n=5136)). Saatu aineisto jaoteltiin osastoittain ja työtehtävittäin työilman nikkeli- ja arseenipitoisuuden mukaan. Biomonitorointirekisterin ja yritysten tietokantoja yhdistettiin ja tarkasteltiin ristiin, jotta saatiin mahdollisimman kattavasti henkilöiden työskentelypaikat osastoittain ja kohteittain, tupakointitiedot ja työskentelyajat yrityksessä. Tässä tutkimuksessa ei tehty uusia työhygieenisia tai biomonitoroinnin mittauksia vaan hyödynnettiin olemassa olevien mittausten tuloksia.

Tämän lisäksi koottiin nikkelielektrolyysin työntekijöistä pienempi erillinen kohortti, jossa arvioitiin vuorojen välistä, vuorojen sisäistä ja työntekijäkohtaista eroavaisuutta virtsan nikkelin biomonitorointituloksissa. Tätä tarkempaa analyysia varten koottiin nikkelin työilman ja virtsapitoisuusaineisto vuosilta 2008 – 2018.

Syöpärekisterin tiedot tehtaalla työskennelleistä henkilöistä koskien keuhko-, nenä- ja sappisyöpiä yhdistettiin tilastokeskuksen rekisteristä saatuihin kuolintietoihin ja edelleen altistumistietoihin. Lisäksi työperäisten sairauksien rekisteristä (TPSR) haettiin mahdolliset ammattitautitiedot tai niiden epäilyt.

#### 3.1 Kerätyt näytteet ja näytteenottotekniikat

Työpaikoilla esiintyvän hiukkasmaisen hengittyvän pölyn ja alveolijakeen mittaamiseen tarkoitettujen menetelmien tulee täyttää standardien EN 481 ja ISO 7708 asettamat vaatimukset. IOM-keräin (SKC, USA) ja sykloni (SKC Plastic Cyclone) täyttävät nämä standardin asettamat vaatimukset sekä hengittyvän-, keuhko- että alveolijakeen suhteen (91, 92). IOM-keräintä voidaan käyttää sekä työntekijän hengitysvyöhykkeen että kiinteän mittauspisteen hiukkaspitoisuuksien mittaamiseen. Harjavallan suurteollisuuspuiston työhygieenisissä mittauksissa on siirrytty käyttämään IOM-keräintä vuonna 2007. Tätä ennen käytössä on ollut Millipore filter AAWP 037 tyyppinen keräin. IOM ja AAWP 037 keräinten vertailututkimus osoitti, että IOM-keräimellä otetut hengittyvän jakeen näytteet olivat noin kaksinkertaisia verrattuna AAWP 037 keräimeen (93).

Aikaisempien tutkimusten perusteella hengitysvyöhykkeeltä suoritettut mittaukset ovat luotettavampia altistumisen arvioinnossa kuin kiinteiden mittausten antamat tulokset (92, 94-96). Kiinteästi asetetut keräimet soveltuvat päästöjen ja päästölähteiden seurantaan ja

niiden tarkoituksena on selvittää milloin, missä ja kuinka paljon mitattavaa ainetta työilmassa esiintyy. Ne eivät ainoana mittaamuksena sovellu yksittäisen työntekijän altistumisen arviointiin (94, 97). Eivät etenkään työtehtävissä, joissa työntekijöiden työalueet ja altistumistasot voivat vaihdella merkittävästi työvuoron aikana.

Sulaton ja nikkelitehtaan työhygieeniset mittaukset vuosilta 1973 – 2000 suoritti yrityksen oma sertifioitu työhygieenikko. Mittaustulokset, menetelmät ja mittapaikat on kuvattu erillisissä raporteissa (yrityksen oma rekisteri). Mittausprotokolaan kuuluivat sekä kiinteiden mittauspisteiden että hengitysvyöhykenäytteiden mittaaminen. Biomonitorointiin tarvittavat virtsanäytteet otettiin Suurteollisuuspuiston omalla työterveysasemalla erillisen kirjallisen ohjeistuksen mukaisesti ja analysoitiin Työterveyslaitoksen Finas akkreditoidussa (T013, SFS-EN ISO/IEC 17025) laboratoriossa. Biomonitorointiin osallistuneilta henkilöiltä tiedusteltiin virtsanäytteen antamisen yhteydessä kyselylomakkeella mm. työtehtäviä, tupakointia, käsihygieniää sekä hengityssuojaimen käyttöä. Alueen yrityksissä on biomonitorointeja tehty säännöllisesti ainakin vuodesta 1980 alkaen yrityksen omana toimintana. Koska alkuvaiheen tulokset eivät ole olleet standardisoituja niitä ei ole otettu mukaan tähän tutkimukseen. Vuodesta 1980 lähtien on virtsan nikkelipitoisuudet ja vuodesta 1982 virtsan arseenipitoisuudet määritetty Työterveyslaitoksen laboratoriossa.

### 3.2 Ilmasta kerätyt näytteet

Hengitysvyöhykenäytteitä mitattaessa keräimet oli kiinnitetty työntekijöiden pukemiin erillisiin valjaisiin siten, että pumppu kiinnitettiin työntekijän vyölle ja siihen letkulla liitetty keräin oli asetettu lähelle työntekijän hengitysvyöhykettä, jolloin ilmanäyte kerättiin hengityssuojaimen ulkopuolelta. Tämän lisäksi työhygieeniset ilmanäytteet sisälsivät kiinteiden mittauspisteiden tulokset, jossa kiinteä keräin ja siihen ilmaletkulla liitetty pumppu oli asetettu jalustalle hengityskorkeudelle (n.150 cm). Suurin osa näytteistä oli kiinteistä mittauspisteistä tulleita näytteitä ja hengitysvyöhyke-näytteitä on otettu pääasiassa vasta myöhemmin 2000-luvulta alkaen.

Näytteet kerättiin standardien EN 481(98), SFS-EN 689(99) ja ISO 7708 (100) mukaisesti.

### 3.3 Suodattimien käsittely

Pumput ja suodattimet toimitettiin Boliden Harjavalta Oy:n omaan laboratorioon, jossa analysoitiin IOM-suodattimelle kerääntyneen pölyn kokonaispaino milligrammoina, pumpun toiminta-aika minuutteina sekä mitattiin pumpun läpi mennyt kokonaisilmamäärä kuutioina. Saadut mittaustulokset aikapainotettiin 8 tunnin mittauksista vastaaviksi. Suodattimet lähetettiin analysoitavaksi Työterveyslaitoksen (TTL) Helsingin yksikköön alkuaikaneanalyysiä varten. Siellä suodatinnäytteet käsiteltiin ja analysoitiin standardien OSHA ID-121, 2002 (101) ([www.osha.com](http://www.osha.com)) ja NIOSH 7303, 1994 (102) ([www.niosh.com](http://www.niosh.com)) mukaisesti.



Pölynäytteistä analysoitiin arseeni- (As), ja nikkelipitoisuudet (Ni) (milligrammoina näytettä kohden). Määritykset tehtiin ICP-MS-menetelmällä (induktiivisesti kytketty plasmamassaspektrometri).

### 3.4 Biologisten näytteiden keräys ja analysointi

Työntekijöiden virtsan nikkel- ja arseeninäytteet koostuivat normaalin altistumisen seurannan tuloksina kerätyistä näytteistä. Näistä määritettiin työskentelyalueen mukaan joko nikkel- tai epäorgaaninen arseenipitoisuus tai molemmat. Määritysmenetelmät ovat pysyneet vertailukelpoisina koko tutkimusprosessin ajan ja määrityksissä on koko seuranta-jakson ajan käytetty sisäistä- ja ulkoista laaduntarkkailua. Laboratorion on Suomen kansallinen akkreditointielin (FINAS, [www.finas.fi](http://www.finas.fi)) akkreditoima testauslaboratorio T013 (ISO/EN 17025:2017).

### 3.5 Aineiston käsittely

Sekä kupari- ja nikkelisulaton että nikkelitehtaan tuloksista laskettiin tilastolliset luvut vuosittain ja osastoittain. Tämän lisäksi ilmanäytteissä eroteltiin kiinteät pisteet ja hengitysvyöhykenäytteet toisistaan. Nikkelipitoisuuksista poistettiin yli 2 mg/m<sup>3</sup> pitoisuudet, koska nämä näytteet olivat otettu pääsääntöisesti päästölähteistä tai kohteissa, joissa työntekijöitä ei ole ollut töissä.

Vastaavasti biologisista mittauksista poistettiin käsittelystä yli 2 µmol/l virtsan nikkelipitoisuudet ja yli 2000 nmol/l virtsan epäorgaanisen arseenin pitoisuudet kontaminoituneina näytteinä. Puuttuneiden vuosien luvut saatiin edellisen ja seuraavan vuoden tulosten mediaanien keskiarvoina. Kaikki tilastolliset laskennat suoritettiin SAS Enterprise (SAS Institute Inc. USA) ohjelmistolla.

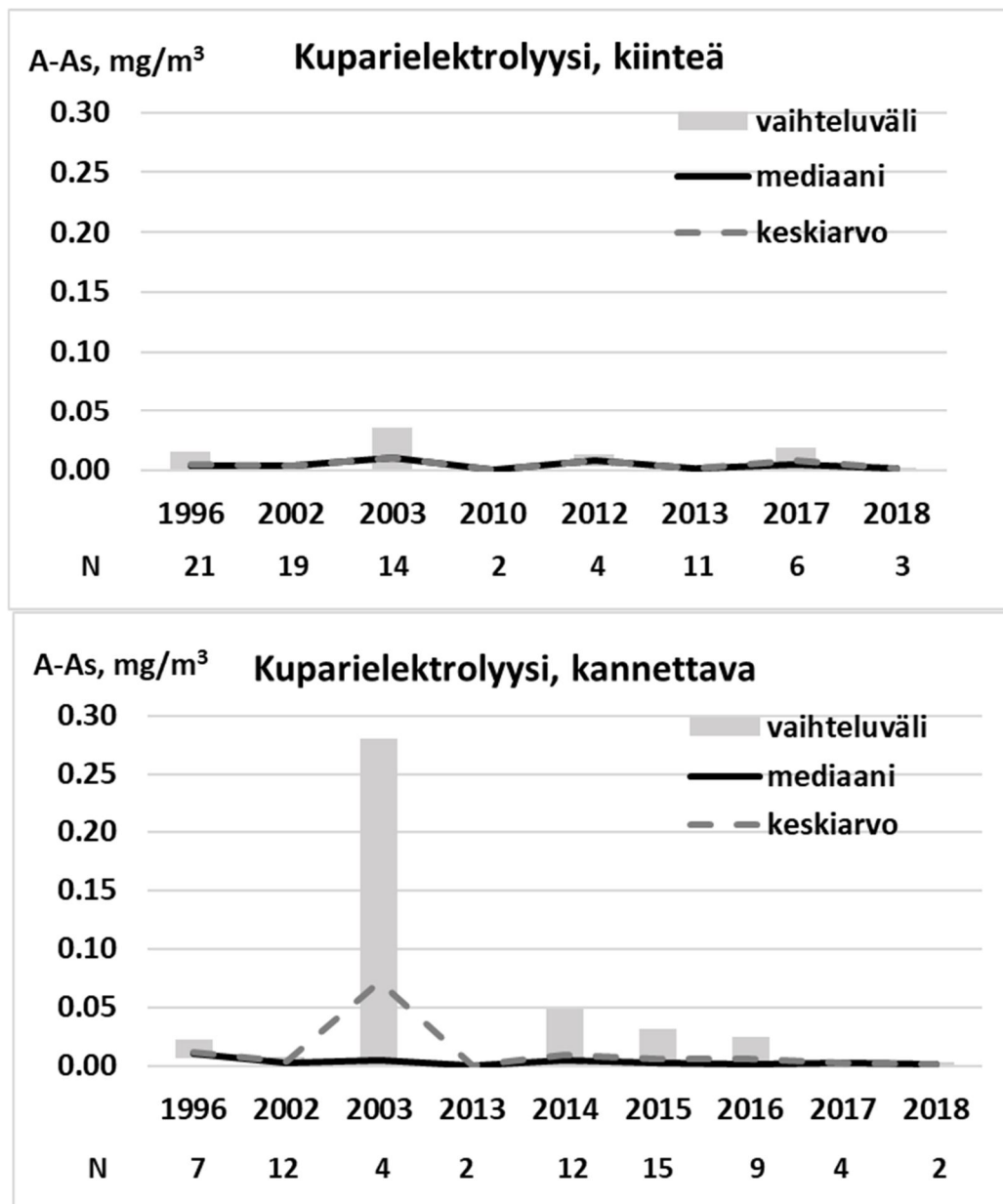


## 4 TULOKSET

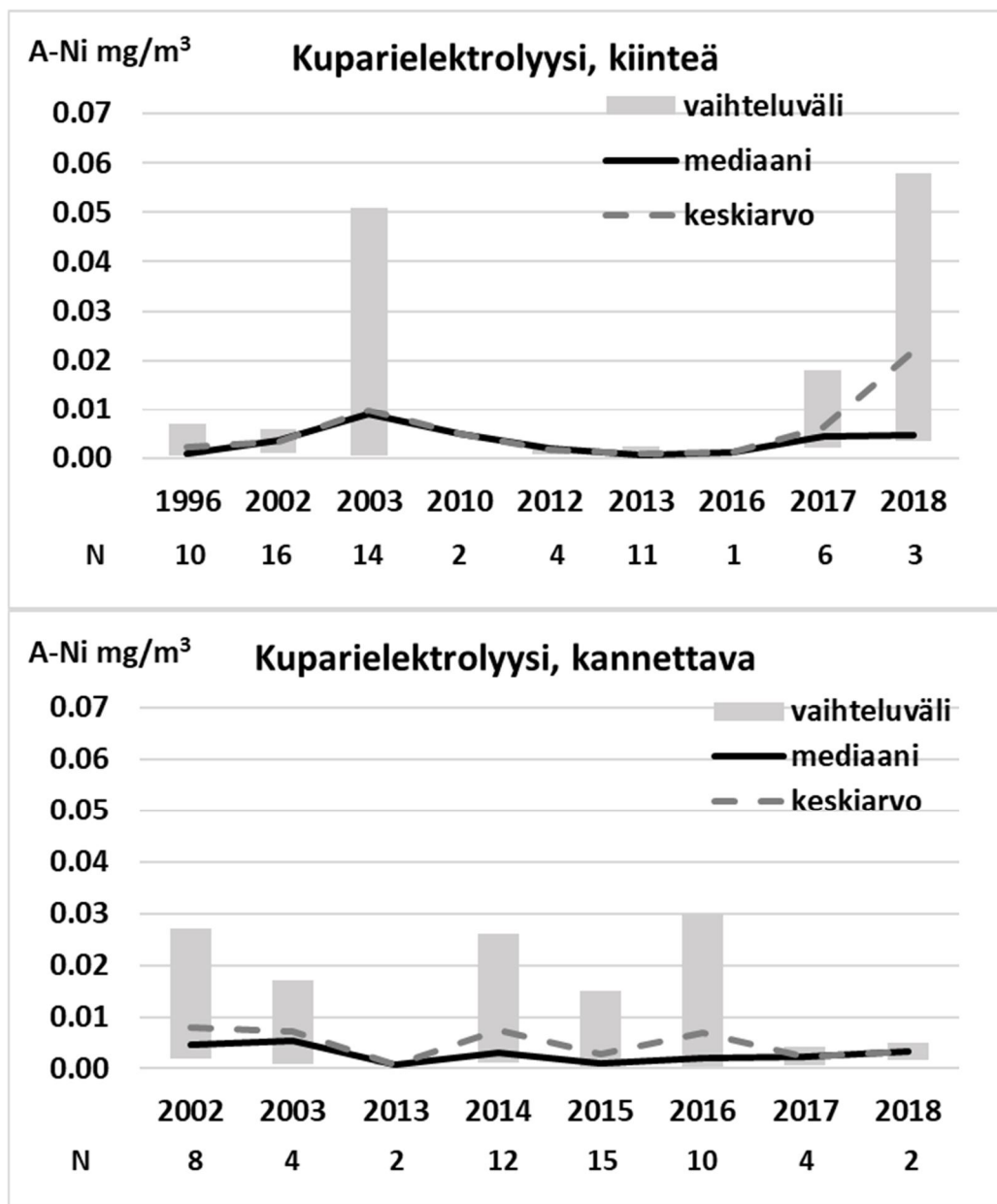
### 4.1 Työhygieeniset mittaukset

Työhygieenisistä näytteistä laskettiin tilastollisia arvoja niin kiinteistä pisteistä kuin henkilökohtaisista kannettavista näytteistä erikseen ja yhdessä kuukausi- ja vuositasolla. Koska näytteet oli kerätty epätasaisesti eri vuosina ja kuukausina päädyttiin käyttämään vuositason tuloksia lopullisissa laskelmissa. Osaa tuloksista ei pystytty asettamaan vain yhdelle osastolle, koska prosessit olivat muuttuneet vuosien varrella. Kuvissa 5 – 12 on koottuna osastoittain tuloksia niistä kohteista, joissa oli enemmän kuin yhtenä vuonna tehtyjä mittauksia ja joissa vuosittaisten mittausten määrä oli yleensä yli kolme.

#### 4.1.1 Nikkeli- ja arseenipitoisuudet

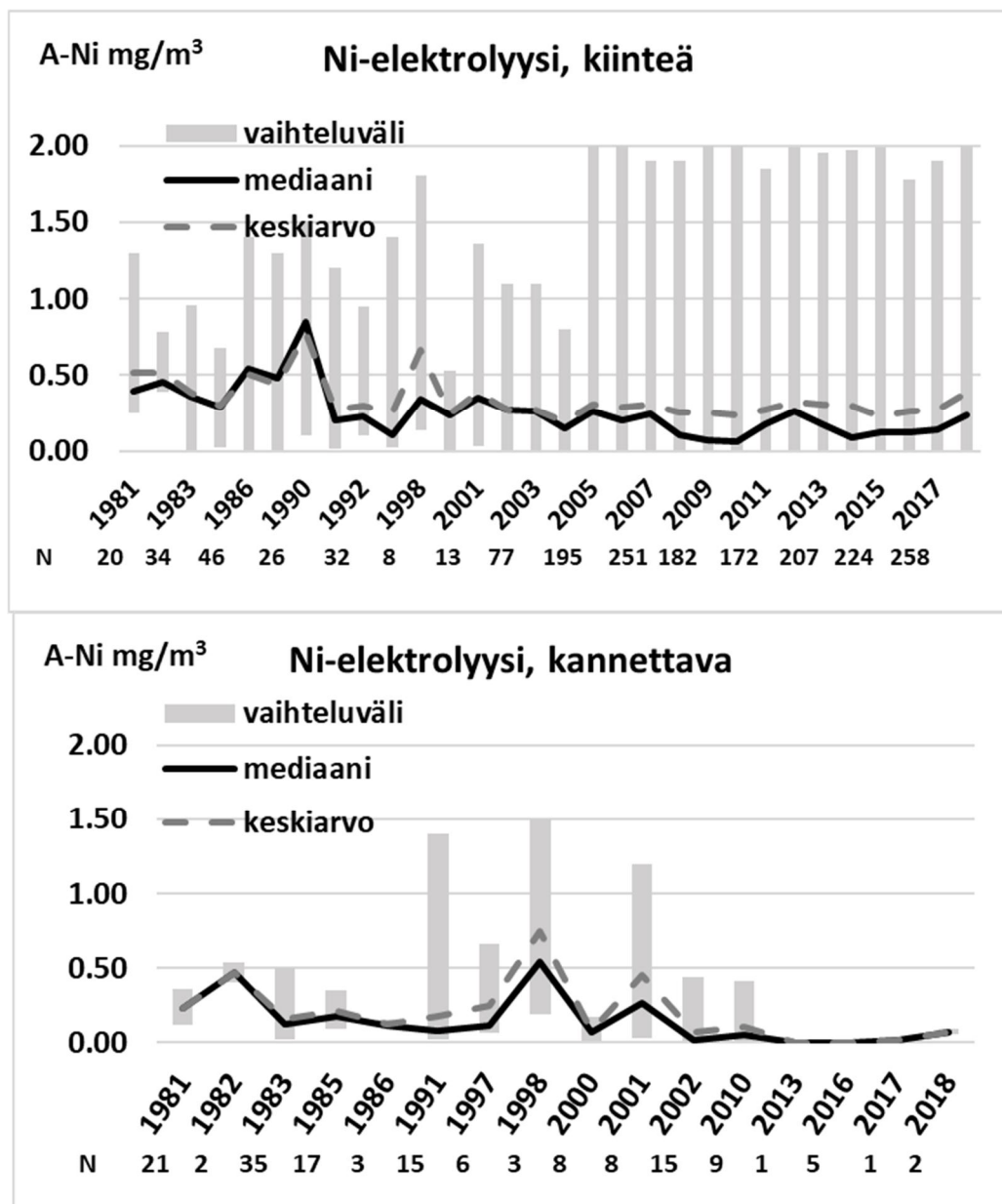


Kuva 5. Kuparielektrolyysi. Arseenipitoisuuksien mediaanit, keskiarvot, 95. persenttiilit vuosittain kiinteissä pisteissä ja kannattavissa näytteissä.

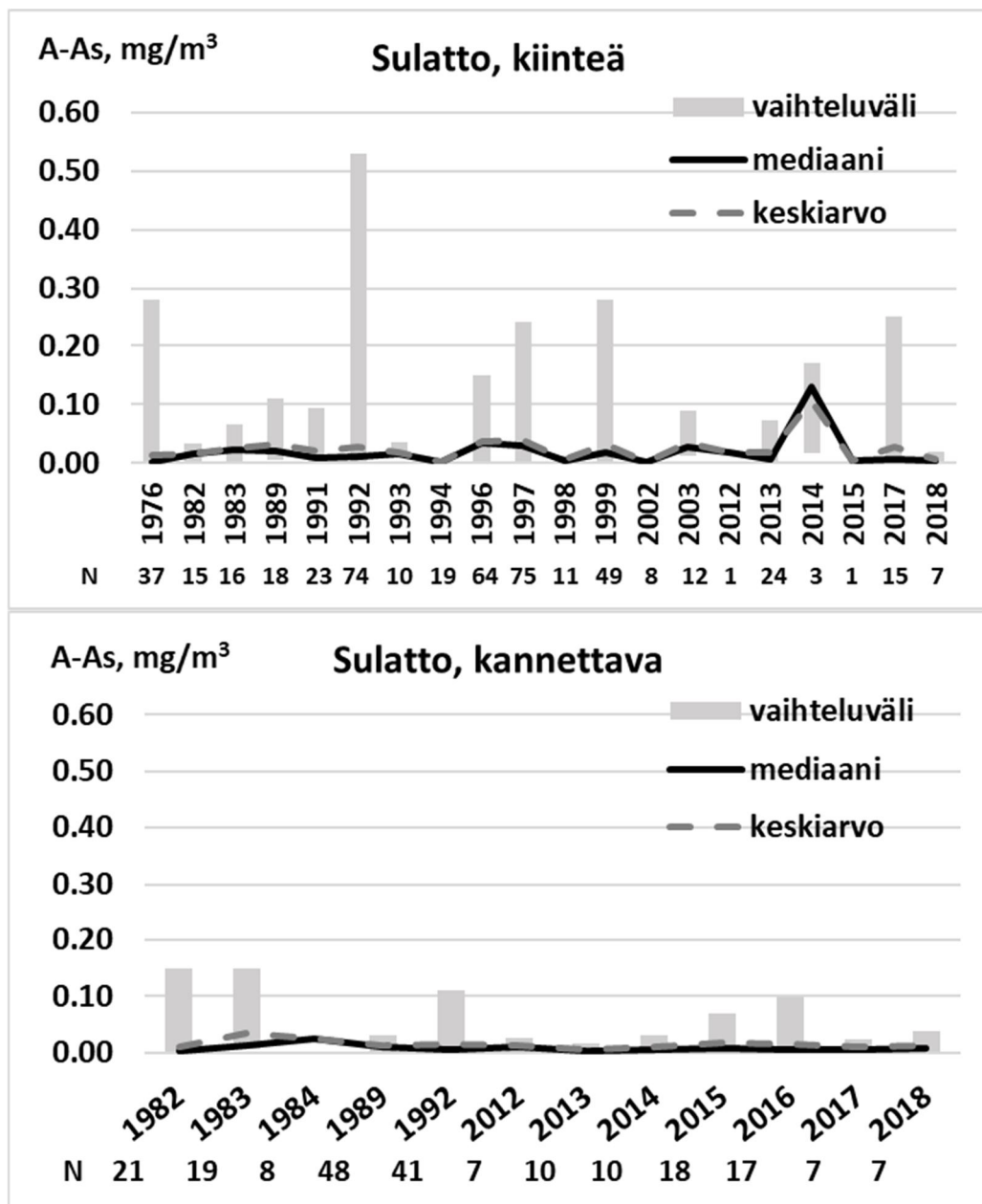


Kuva 6. Kuparielektrolyysi. Nikkelipitoisuuksien mediaanit, keskiarvot, 95. persenttiilit vuosittain kiinteissä pisteissä ja kannattavissa näytteissä

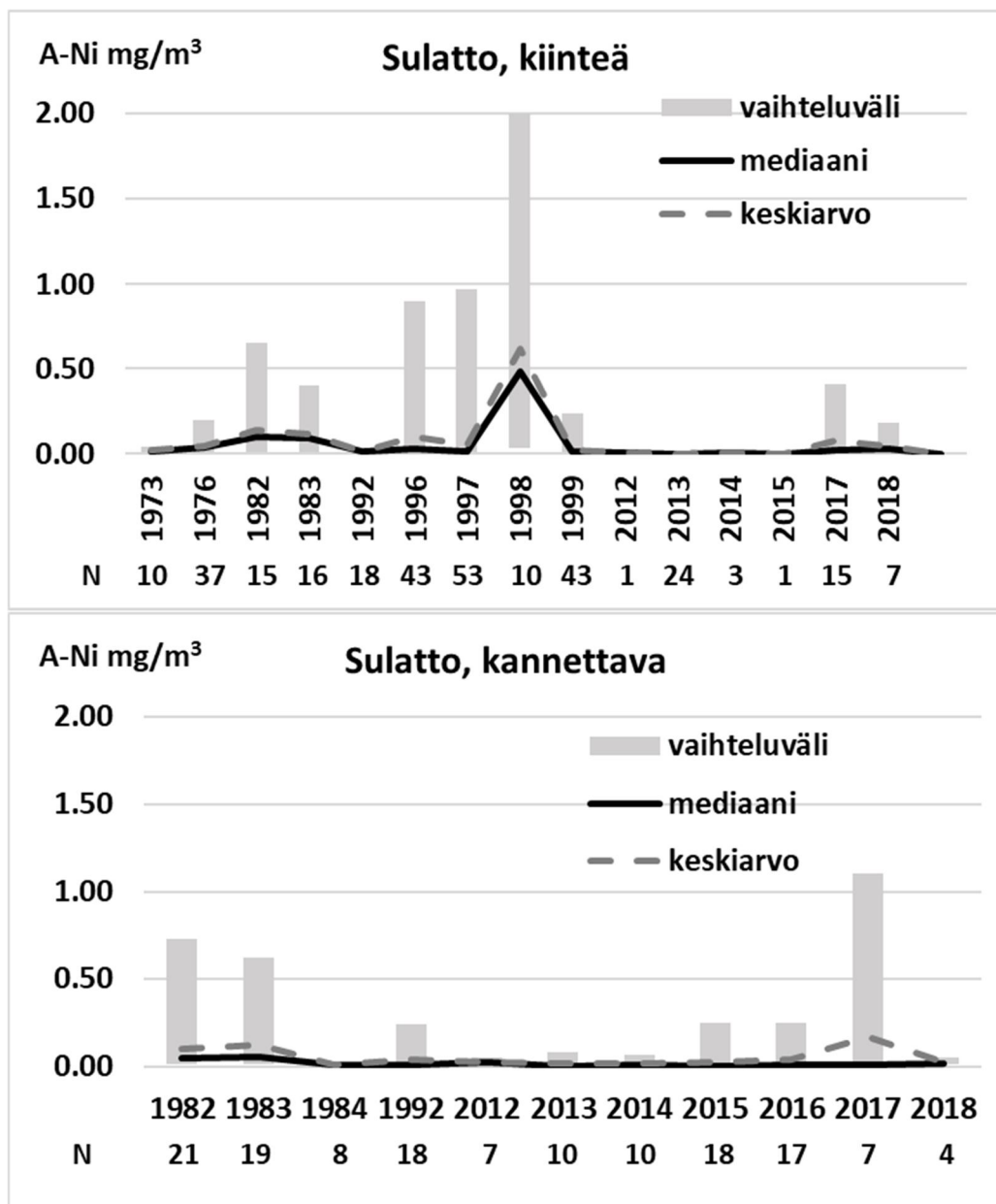
Nikkelielektrolyysissä kaikki mitatut arseenipitoisuudet ovat olleet vuosien varrella alle 0,007 mg/m<sup>3</sup>.



Kuva 7. Nikkellelektrolyysi. Nikkelipitoisuuksien mediaanit, keskiarvot, 95. persenttiilit vuosittain kiinteissä pisteissä ja kannattavissa näytteissä.

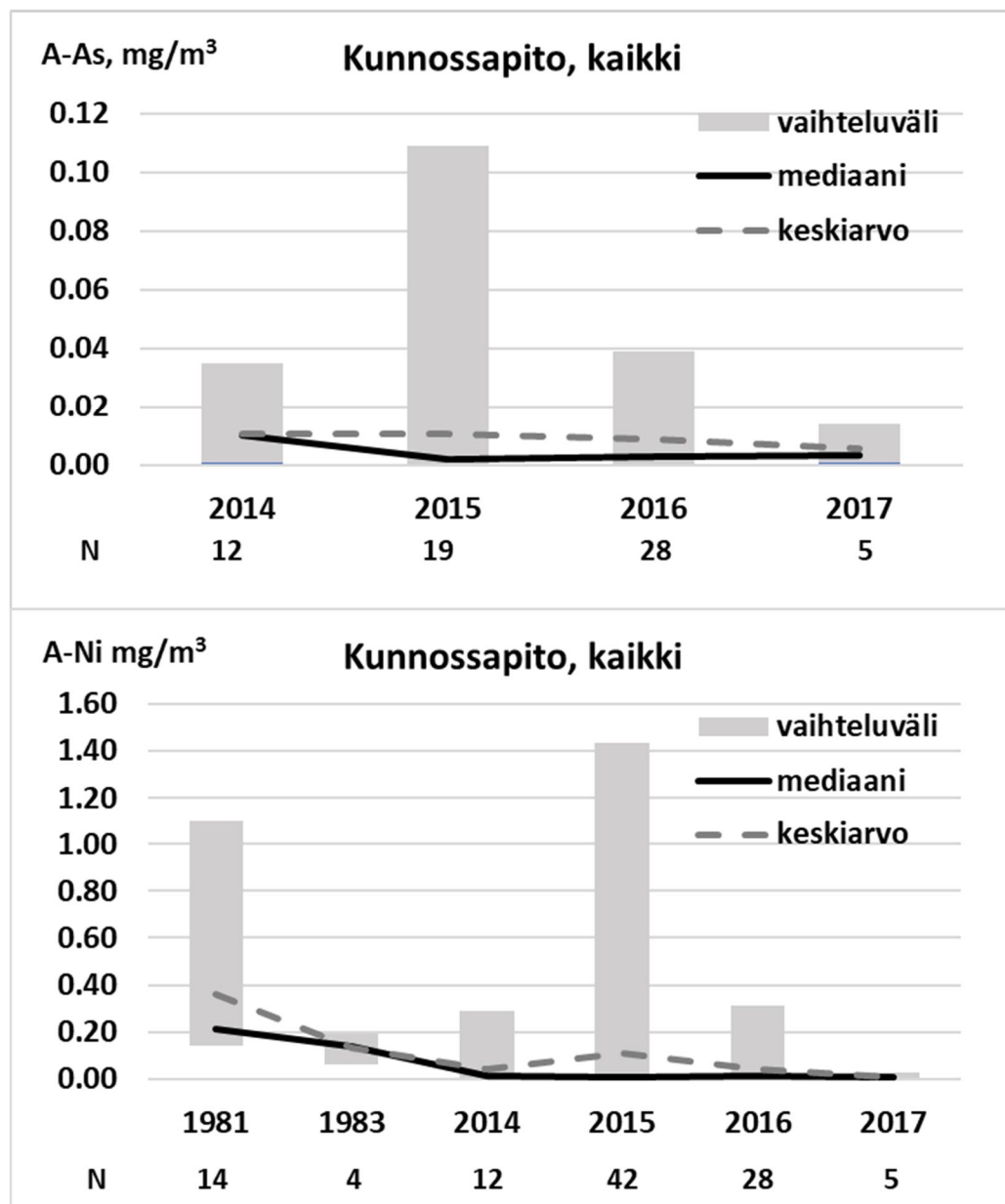


Kuva 8. Sulatto. Arseenipitoisuuksien mediaanit, keskiarvot, 95. persenttiilit vuosittain kiinteissä pisteissä ja kannattavissa näytteissä.



Kuva 9. Sulatto. Nikkelipitoisuuksien mediaanit, keskiarvot, 95. persenttiilit vuosittain kiinteissä pisteissä ja kannattavissa näytteissä.

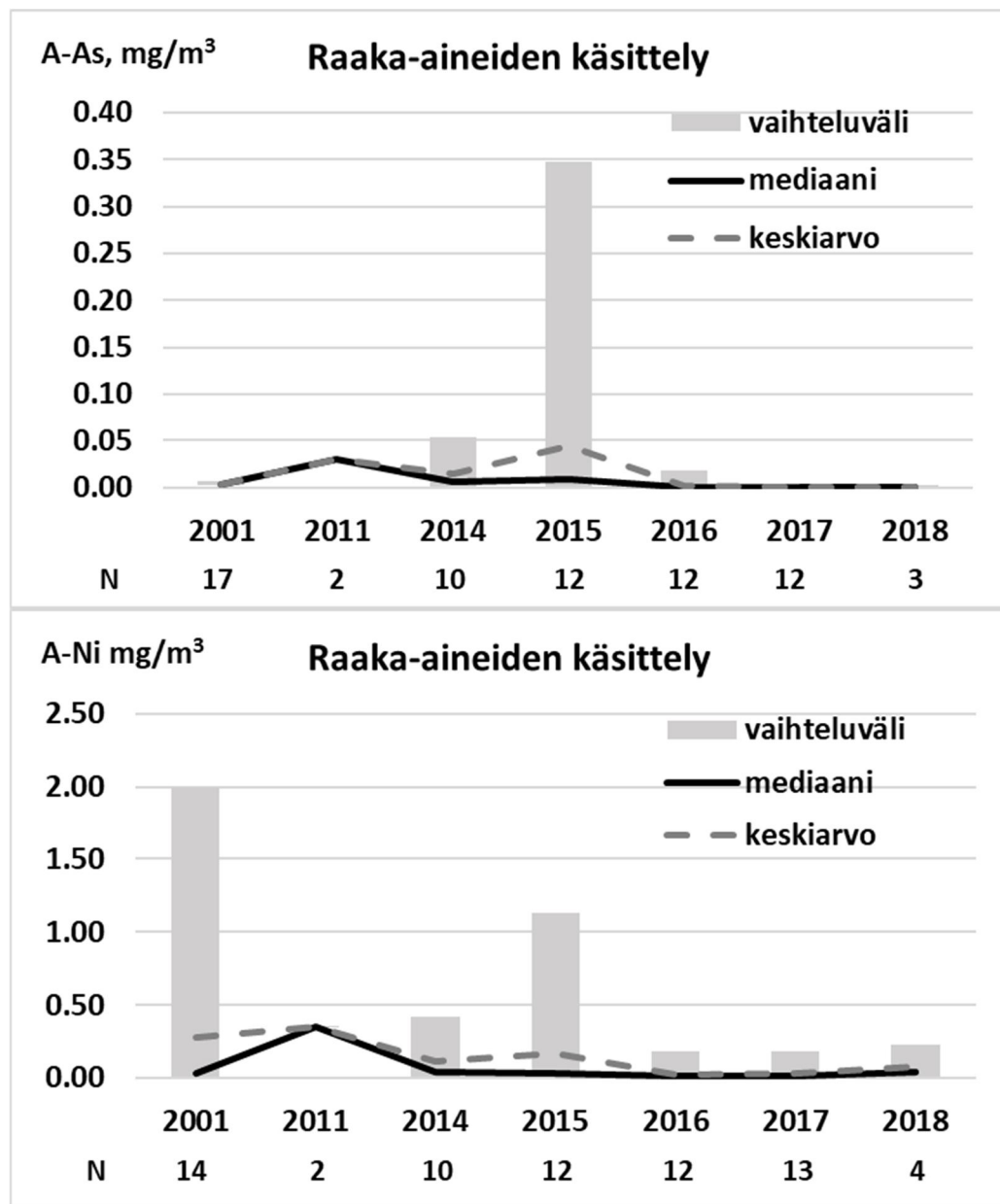
Osa mittauksista jaettiin edelleen osaosastoihin ja esimerkiksi kunnossapito koottiin yhteen eri osastoilta. Tällöin sama mittaus voi olla mukana niin osastotiedoissa kuin kunnossapidossa. Kunnossapidossa oli kiinteiden ja kannettavien mittausten määrä niin pieni, että tulokset on yhdistetty kuvaan.



Kuva 10. Kunnossapito. Arseeni ja nikkelipitoisuuksien mediaanit, keskiarvot, 95. persentiilit vuosittain.

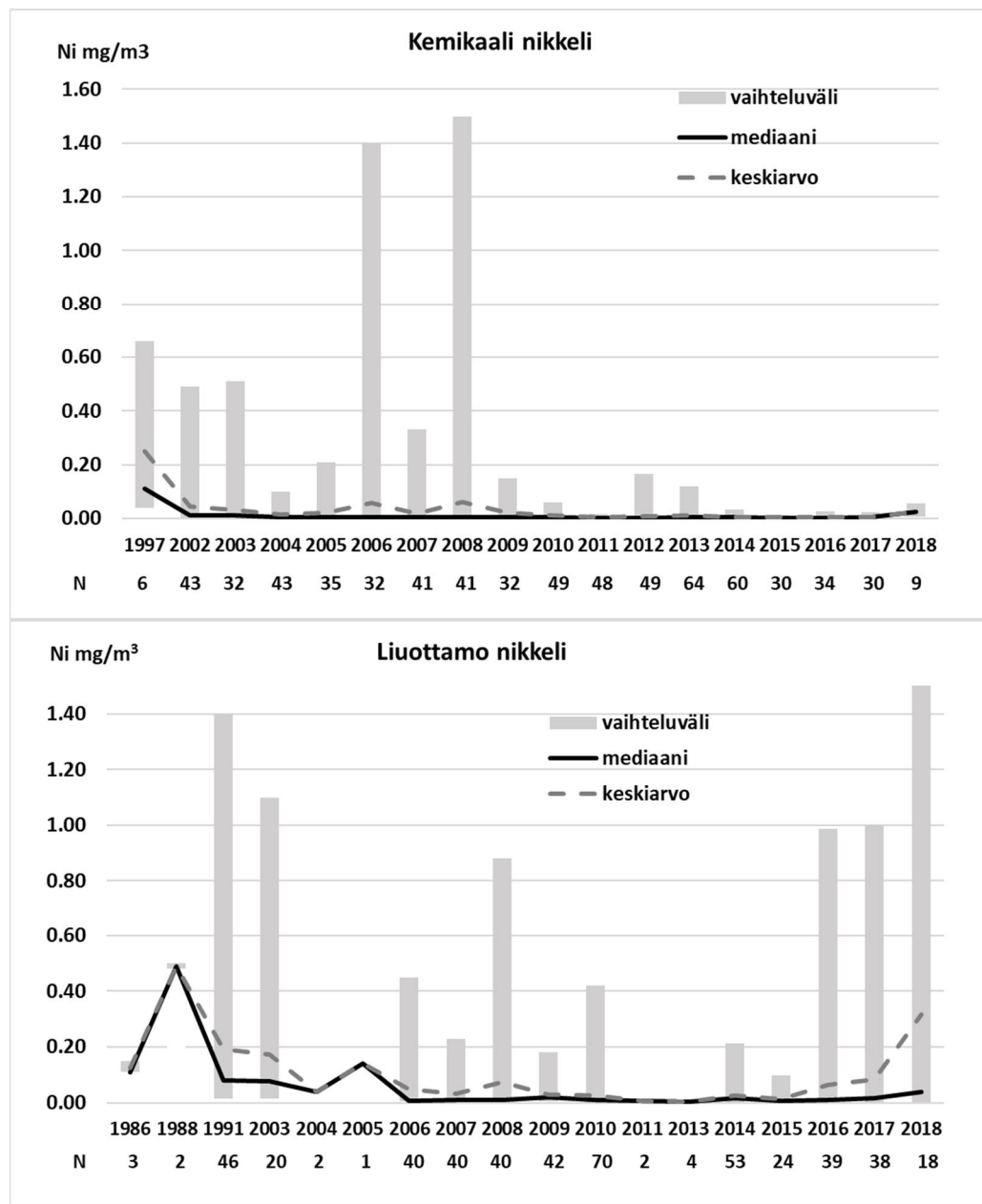


Raaka-aineiden käsittely sulaton yhteydessä eriytettiin omaksi ryhmäksi, koska siellä on erilainen altistuminen kuin varsinaisessa sulatossa. Raaka-aineiden käsittely on jakautunut omaksi alueeksi 2001 vuonna.



Kuva 11. Raaka-aineiden käsittely. Arseeni- ja nikkelipitoisuuksien mediaanit, keskiarvot, 95. persentiilit vuosittain.

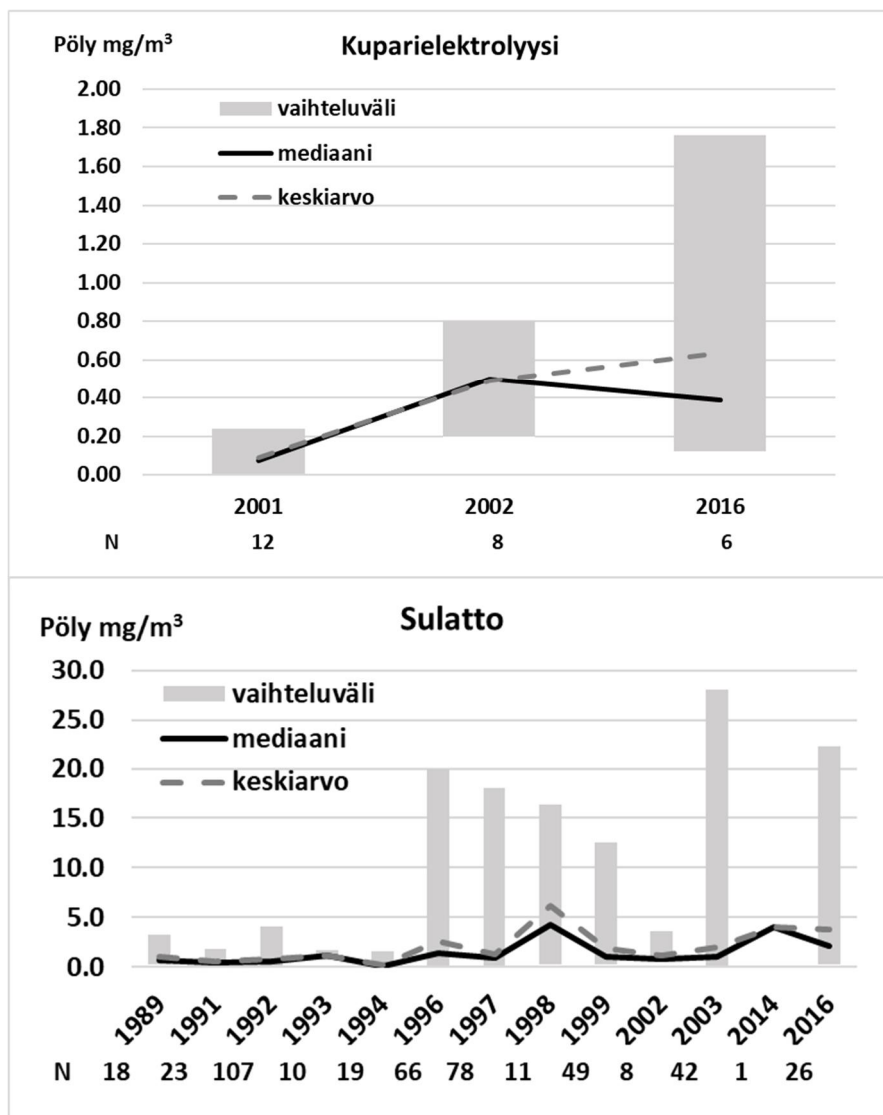
Myös kemikaalitehdas ja liuottamo muodostavat omat yksiköt, joissa altistutaan nikkelille. Näillä työskentelyalueilla ei altistuta arseenille.



Kuva 12. Kemikaalitehdas ja liuottamo. Nikkelipitoisuuksien mediaanit, keskiarvot, 95. persentiilit vuosittain.

#### 4.1.2 Pölymittaukset

Työhygieenisten metallimittausten ohessa oli mitattu myös pölypitoisuuksia eri kohteista. Mittauspisteiden määrä oli kuitenkin huomattavasti pienempi. Kuvassa 13 on koottuna pölypitoisuuksia niiltä osastoilta, jossa mittauksia oli tehty enemmän vuositasolla ja useina vuosina. Pölypitoisuuden määrittämisä Ni-elektrolyyssä on tehty vähän, mutta pitoisuudet ovat jääneet niissä alle  $0,5 \text{ mg/m}^3$ :ssa.



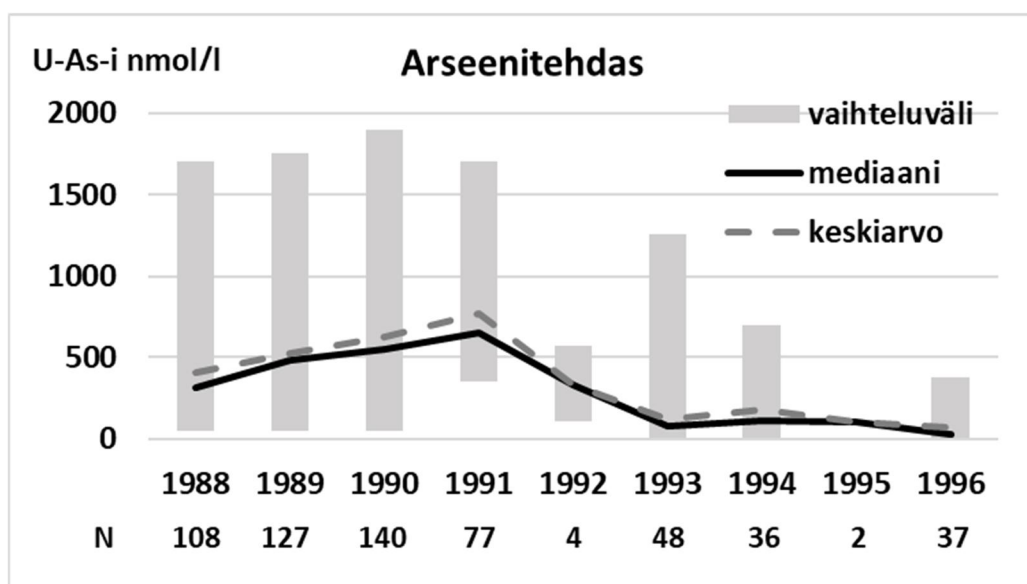
Kuva 13. Kuparielektrolyysi ja sulatto. Pölypitoisuuksien mediaanit, keskiarvot ja vaihteluväli  $\text{mg/m}^3$ . Huom. eri skaalat.

## 4.2 Biologiset mittaukset

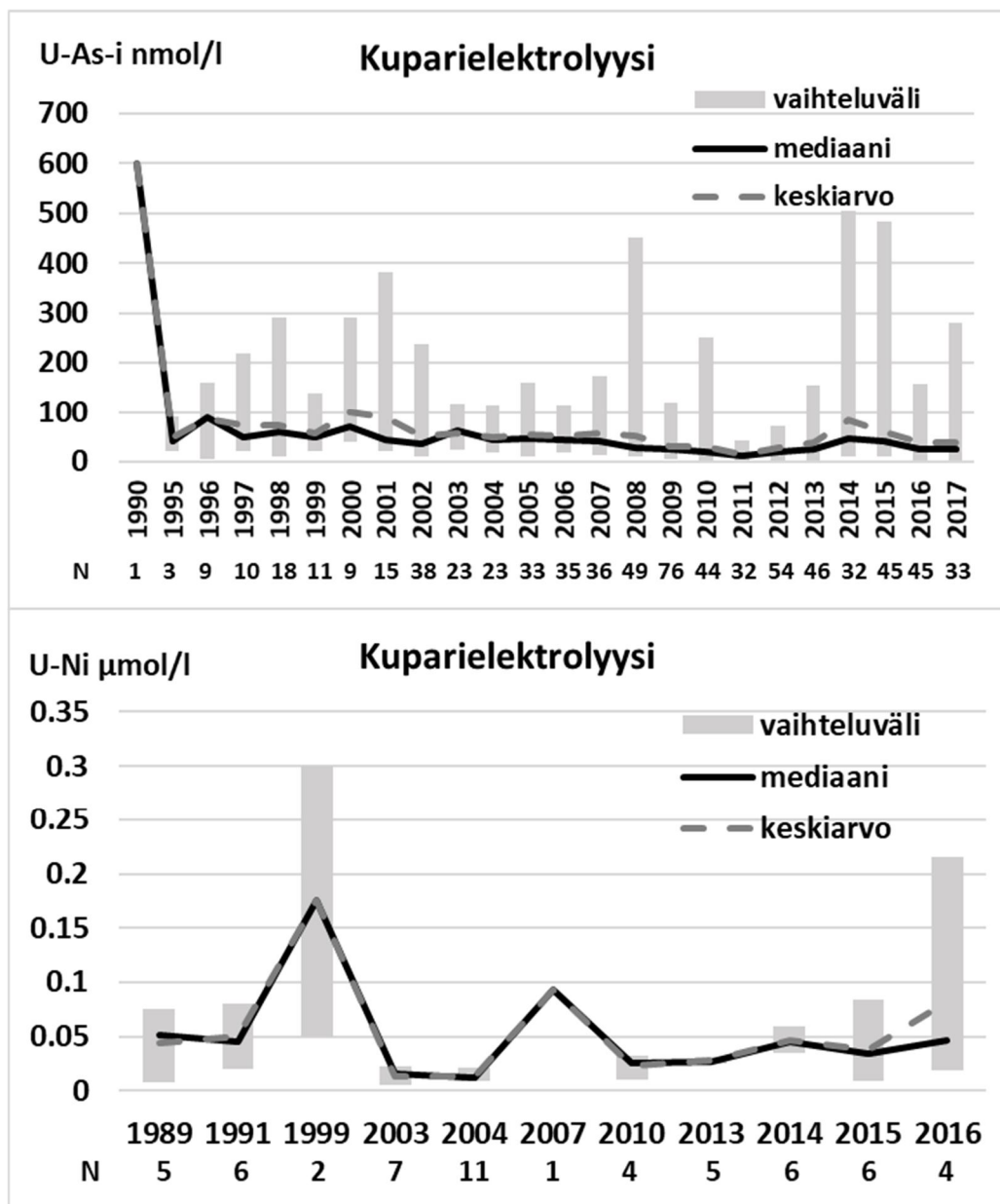
Virtsasta tehtyjä epäorgaanisen arseenin ja nikkelin määrytyksiä oli huomattavasti enemmän kuin ilmasta tehtyjä mittauksia ja ne jakautuivat myös koko tutkimusjaksolle tasaisesti.

Yhden hyvin rajoitetuille vuosille keskittyneen altistavan työn muodosti arseenitehdas ja sen purku. Kuvassa 14 on esitetty altistumisen muutokset vuositason mediaanin ja keskiarvon suhteen. Tuloksista voi havaita, että altistuminen on selkeästi laskenut seurantajakson aikana, mutta se on ollut koko ajanjakson erittäin korkea. Tältä ajanjaksolta ei ole olemassa ilman arseenipitoisuuden mittauksia.

Kuparielektrolyysissä altistutaan lähinnä arseenille (Kuva 15). Korkein yksittäinen virtsan epäorgaanisen arseenipitoisuus (600 nmol/l) mitattiin seurantajakson alussa, 2000-luvulla lähes poikkeuksetta virtsan epäorgaanisen arseenin pitoisuudet ovat pysytelleet alle 70 nmol/l (ohjeraja-arvo) (1). Virtsan nikkelin altistuminen on aina ollut matalaa ko. osastolla ja pysynyt selkeästi kulloinkin voimassa olleiden ohjeraja-arvojen alapuolella.

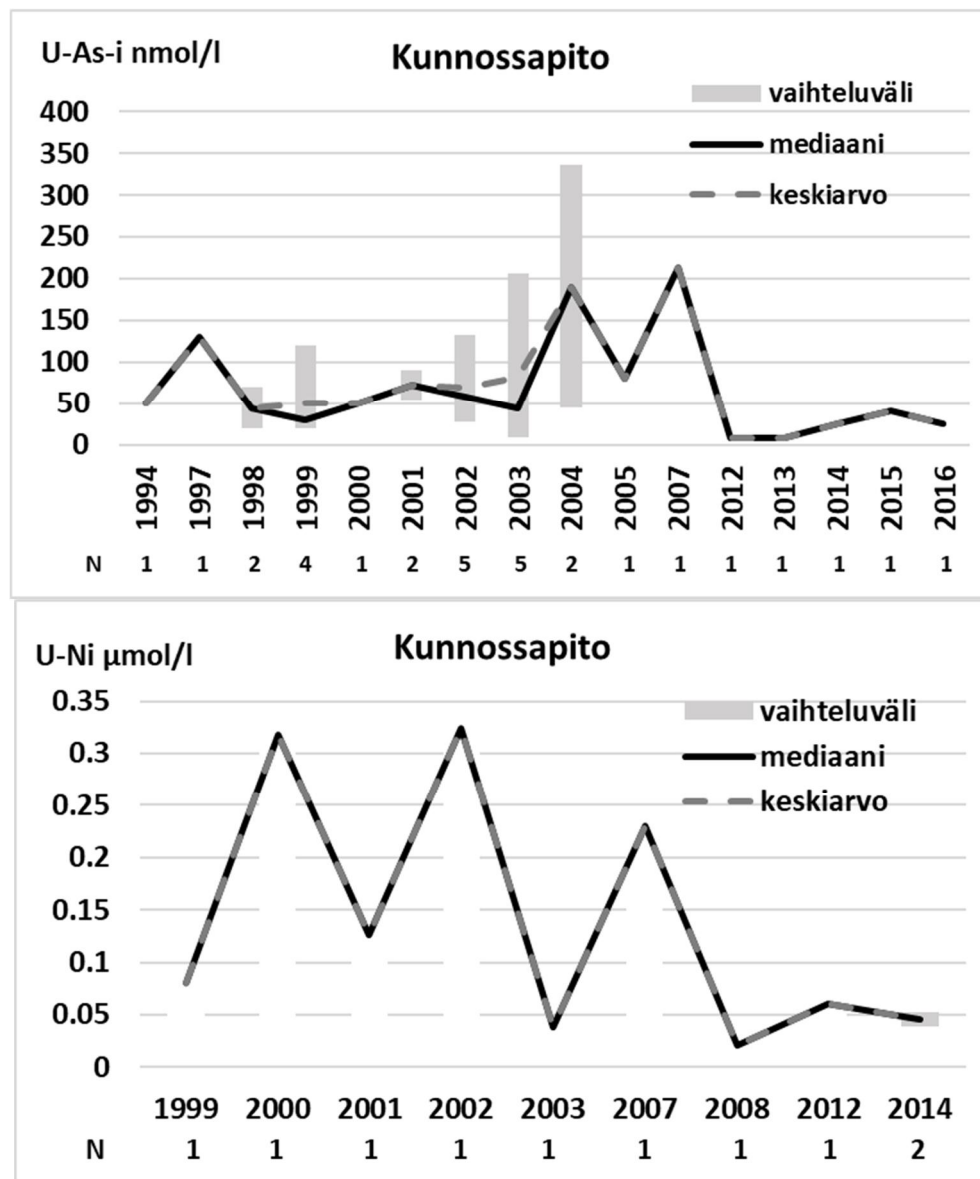


Kuva 14. Virtsan epäorgaanisen arseenin (U-As-i, nmol/l) mediaanit, keskiarvot ja vaihteluväli seurantajakson aikana.



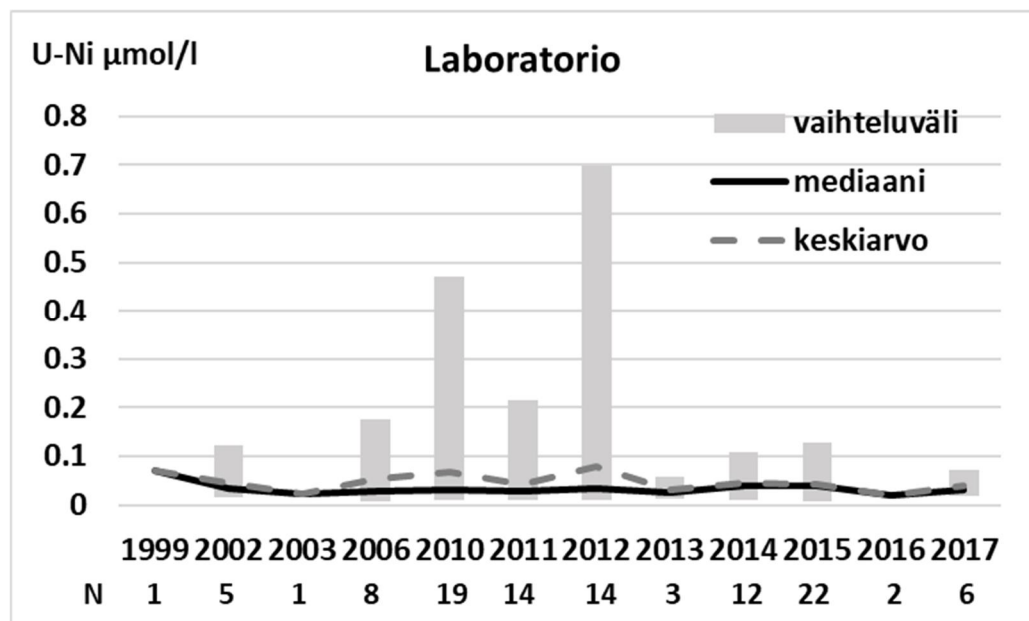
Kuva 15. Kuparielektrolyysi. Virtsan epäorgaanisen arseenin (U-As-i, nmol/l) ja nikkelin (U-Ni, µmol/l) mediaanit, keskiarvot ja vaihteluväli seurantajakson aikana.

Kunnossapidossa mittausten määrä on suhteellisen pieni vuositasolla, koska suurin osa kunnossapidon työntekijöistä on kiinnitetty osastoille. Kunnossapitomiehet työskentelevät yleensä kiinteästi samalla osastolla vuodesta toiseen. Nämä mittausarvot eivät anna todellista kuvaa kunnossapidon altistumisesta ja kuvassa esitetyt arvot perustuvat usein yksittäiseen mittaustulokseen vuoden aikana. (Kuva 16.)



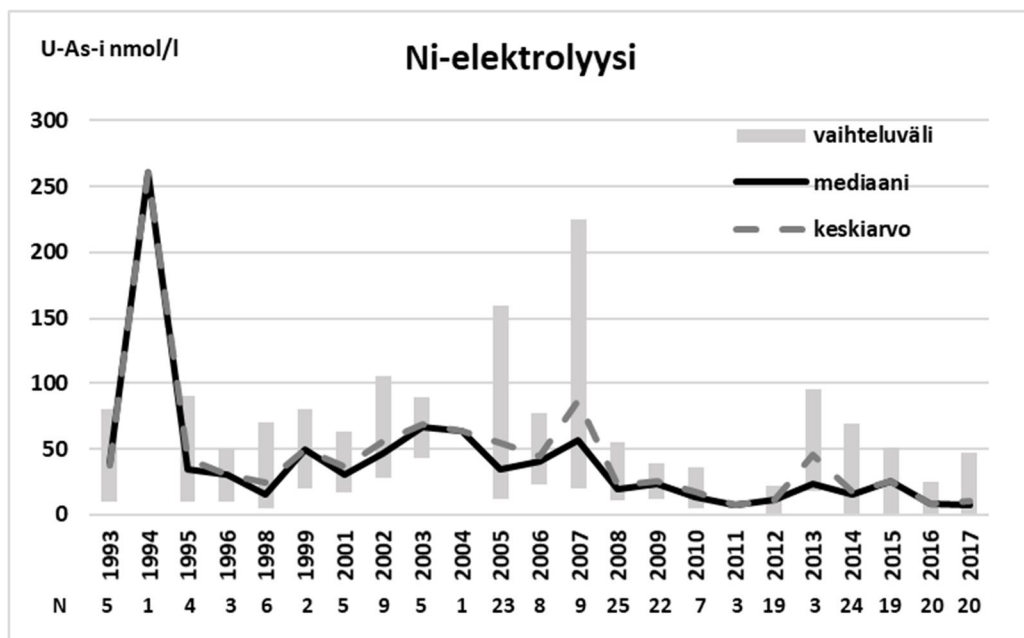
Kuva 16. Kunnossapito. Virtsan epäorgaanisen arseenin (U-As-i, nmol/l) ja nikkelin (U-Ni, µmol/l) mediaanit, keskiarvot ja vaihteluväli seurantajakson aikana.

Laboratoriosta ei ole kuin yksi virtsan epäorgaanisen arseenin tulos. Osa laboratorion työntekijöistä (näytteenottajat) kiertävät ottamassa myös näytteitä, jolloin heillä voi olla hetkellinen korkeampi altistuminen. Kuitenkin pitoisuudet ovat sielläkin pysyneet aina voimassa olevien ohjeraja-arvojen alapuolella. (Kuva 17.)

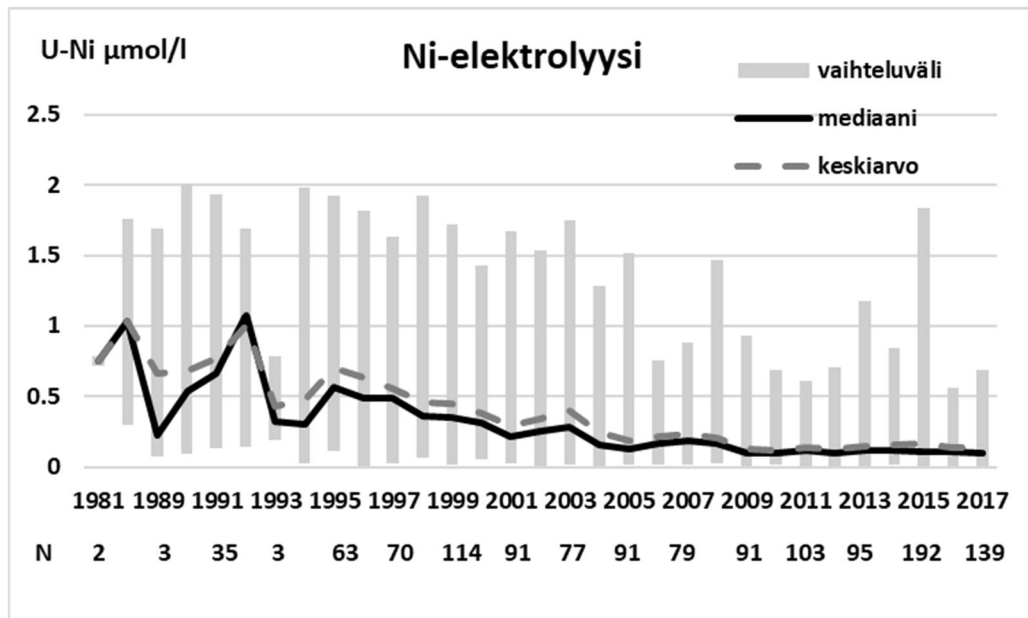


Kuva 17. Laboratorio. Virtsan nikkelin (U-Ni,  $\mu\text{mol/l}$ ) mediaanit, keskiarvot ja vaihteluväli seurantajakson aikana.

Kaikista eniten on näytteitä nikkielektrolyysistä. Vuoteen 1995 hengityksen suojaimen käyttö ei ollut pakollista, mutta sen jälkeen Ni-elektrolyysihalliin ei ole saanut mennä ilman hengityksensuojainta. Virtsan nikkelipitoisuudet ovat vuosien varrella laskeneet selvästi ja ovat keskimäärin alle liukoisille nikkeliyhdisteille asetetun ohje-raja-arvon. (Kuva 19.)



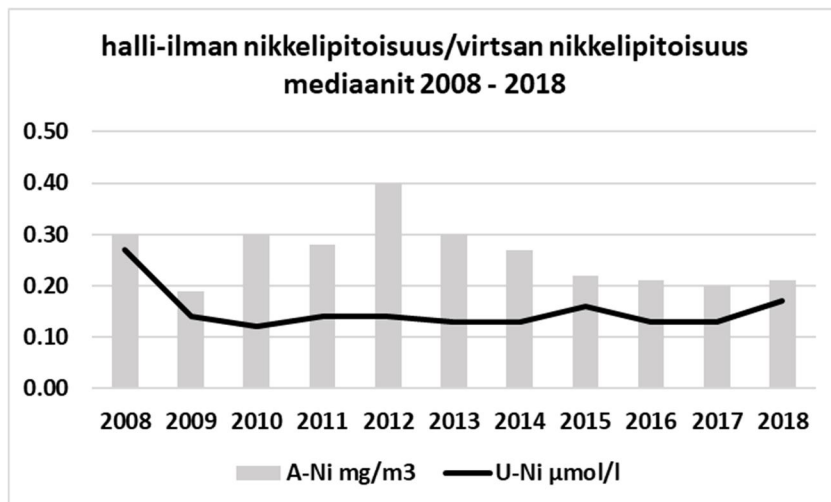
Kuva 18. Nikkelielektrolyysi. Virtsan epäorgaanisen arseenin (U-As-i, nmol/l) mediaanit, keskiarvot ja vaihteluväli seurantajakson aikana.



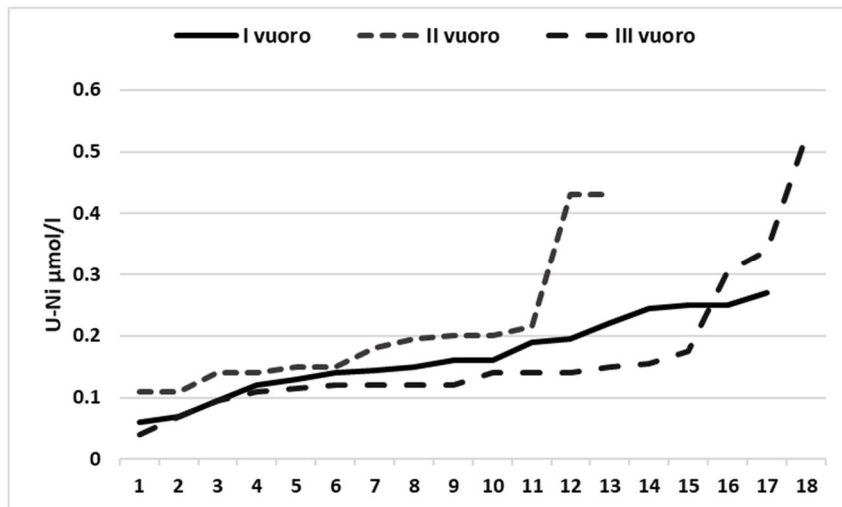
Kuva 19. Nikkelielektrolyysi. Virtsan nikkelin (U-Ni, μmol/l) mediaanit, keskiarvot ja vaihteluväli seurantajakson aikana.



Elektrolyysihallin ilman nikkelin mediaanipitoisuuden ja virtsan nikkelin mediaanipitoisuuksien seuranta 2008 – 2018 on esitetty kuvassa 20. Tästä voidaan havaita, että niin ilman kuin virtsan nikkelpitoisuuksien mediaanit ovat pysyneet hyvin vakaina tarkastelujakson aikana. Jos katsotaan toistuvasti seuratuilta yksittäisiltä työntekijöiltä heidän virtsan nikkelpitoisuuksien mediaaneja ja jaetaan ne eri työvuoroille, niin havaitaan, että nämäkin ovat suhteellisen vakiollisia kaikissa vuoroissa ja kaikilla työntekijöillä. (Kuva 21.) Vertaavat 28 – 30.

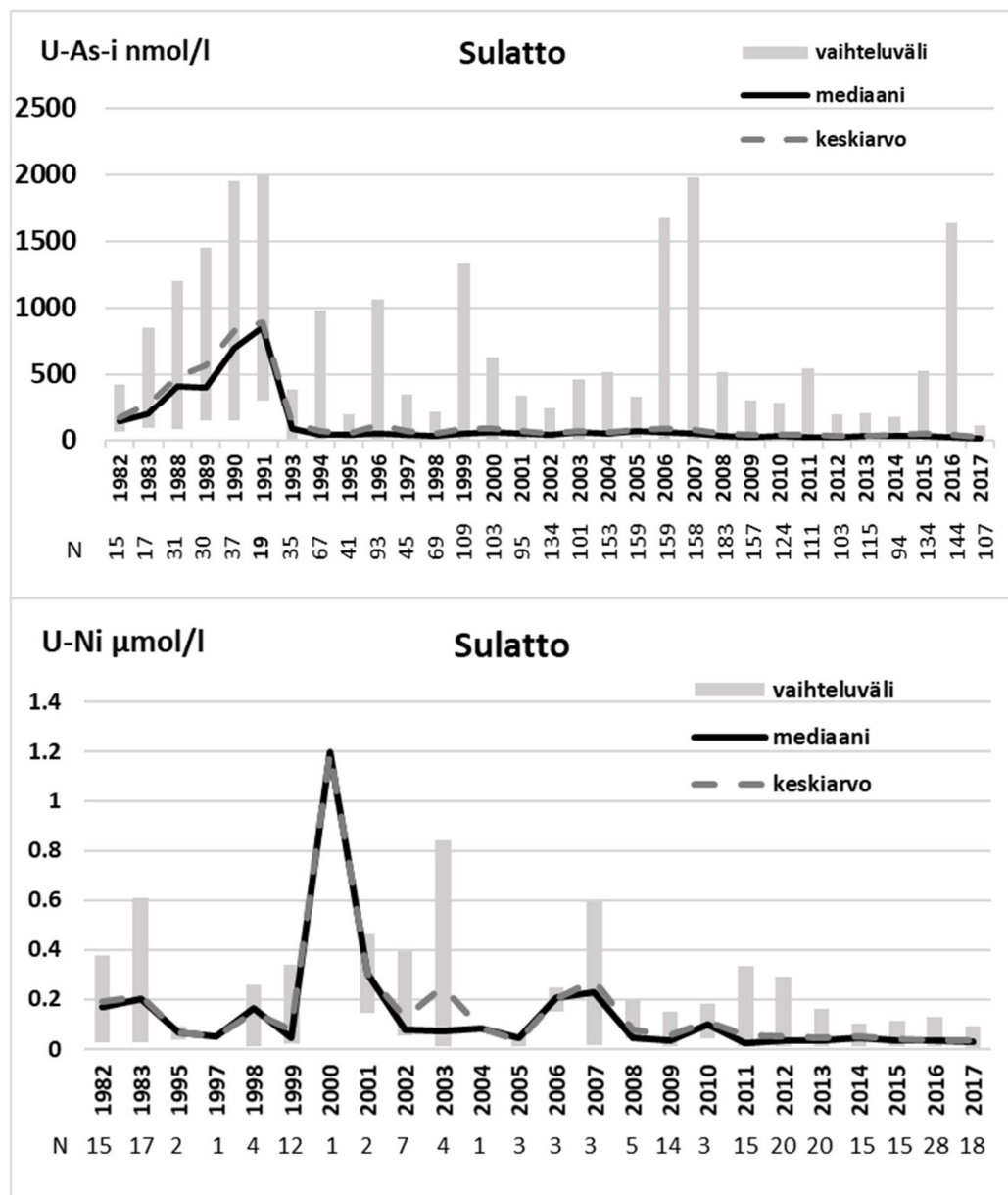


Kuva 20. Elektrolyysihallin ilman ja virtsan nikkelpitoisuuden mediaanit vuosina 2008-2018.



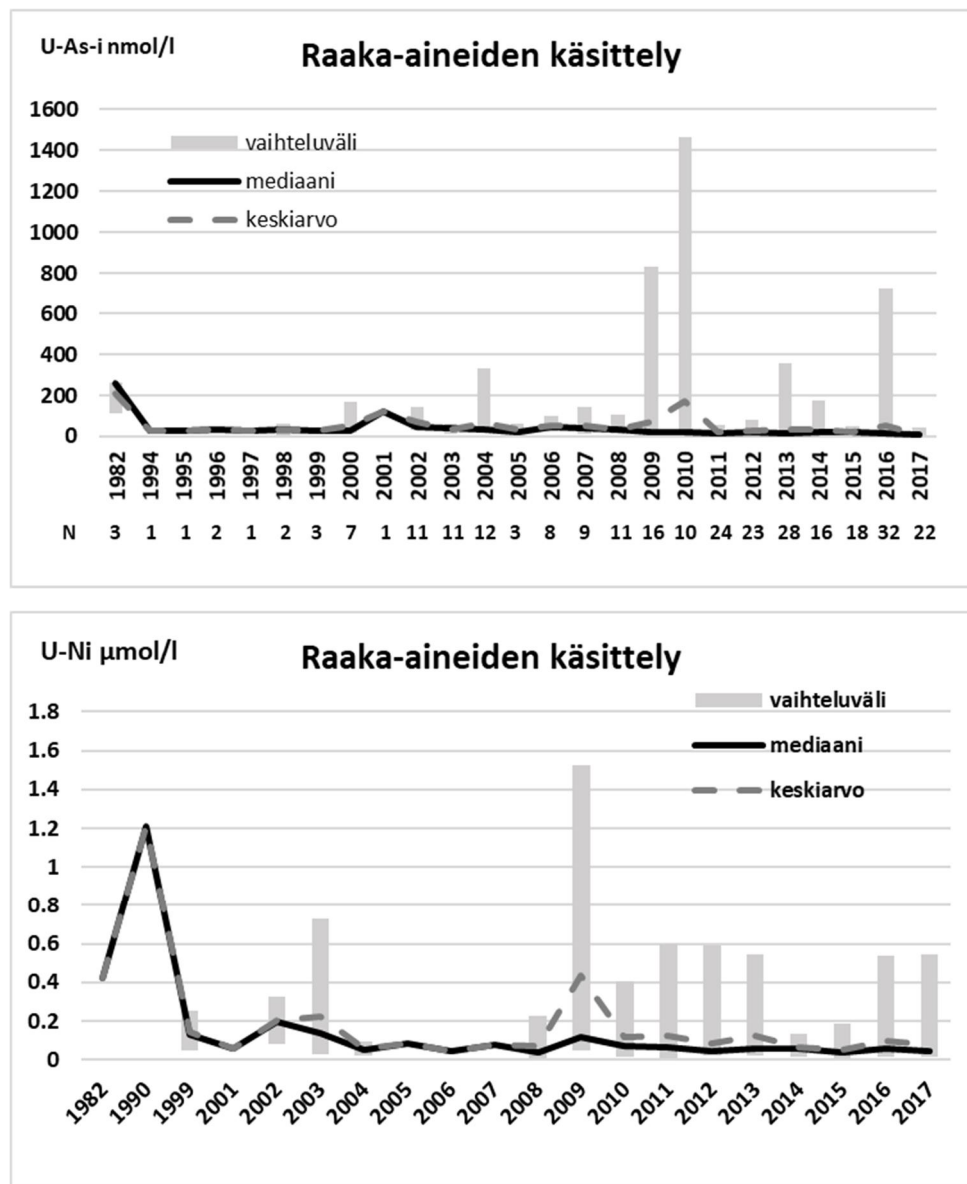
Kuva 21. Kolmessa vuorossa nikkielektrolyysissä työskennelleiden yksittäisten työntekijöiden virtsan nikkelpitoisuuksien mediaanit. Jokaiselta henkilöltä oli vähintään kaksi eripäivinä tehtyä mittausta ko. vuorossa.

Sulatossa vuoden 1993 vuoden jälkeen virtsan epäorgaanisen arseenin mediaani ja keskiarvopitoisuudet eivät ole ylittäneet voimassaolevaa ohjeraja-arvoa 70 nmol/l. (1). Myös virtsan nikkelipitoisuudet ovat pysytelleet viimeiset 10 vuotta ohjeraja-arvon alapuolella. (Kuva 22.)



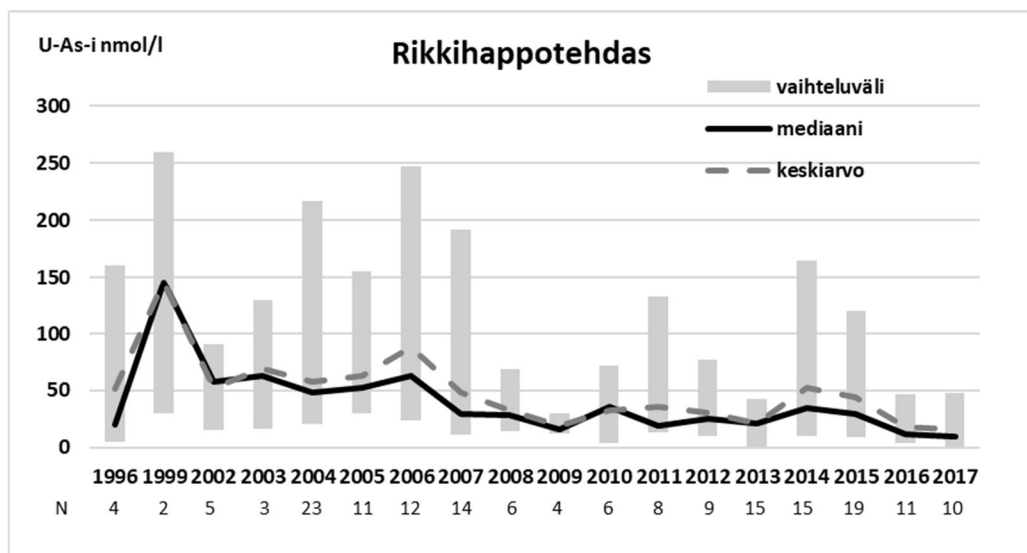
Kuva 22. Sulatto. Virtsan epäorgaanisen arseenin (U-As-i, nmol/l) ja nikkelin (U-Ni, µmol/l) mediaanit, keskiarvot ja vaihteluväli seurantajakson aikana.

Sulaton yhteydessä olevassa raaka-aineiden käsittelyssä on ollut yksittäisiä korkeita pitoisuuksia, jotka saattavat johtua ulkoisesta kontaminaatiosta virtsanäytteen otossa tai merkittävästä maha-suolikanavan kautta tapahtuneesta altistumisesta. Keskiarvo- ja mediaanipitoisuudet ovat kuitenkin selkeästi alle ohjeraja-arvopitoisuuden. (Kuva 23.)



Kuva 23. Raaka-aineiden käsittely. Virtsan epäorgaanisen arseenin (U-As-i, nmol/l) ja nikkelin (U-Ni, µmol/l) mediaanit, keskiarvot ja vaihteluväli seurantajakson aikana

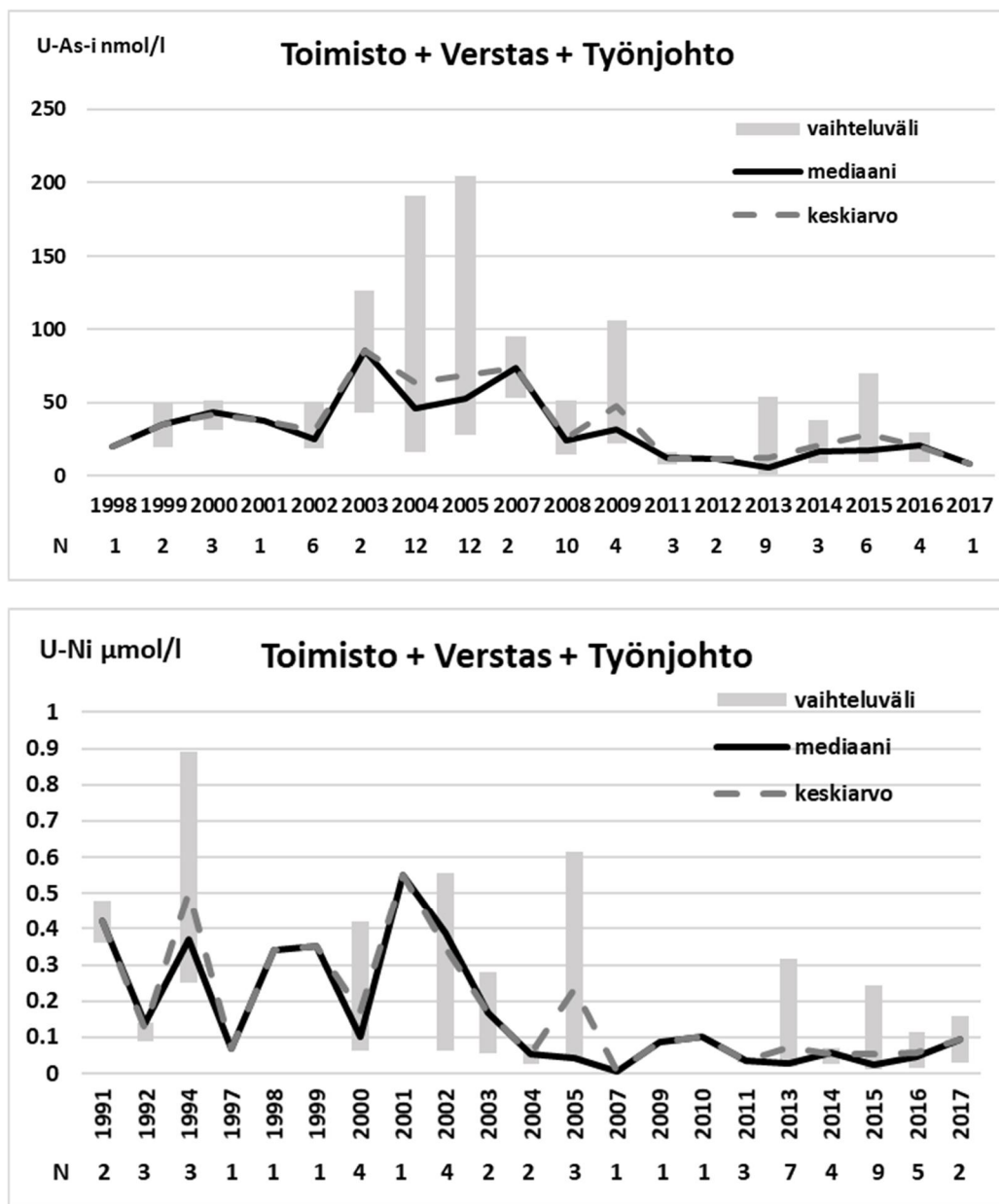
Virtsan arseenipitoisuudet ovat pysytelleet vakaina seurantajakson aikana ja korkeat yksittäiset mittausarvot ovat vähentyneet. (Kuva 24.) Virtsan nikkelipitoisuuden mittauksia sieltä on vain yksittäisiä ja ne ovat olleet alle ohjeraja-arvon 0,1  $\mu\text{mol/l}$ . (1)



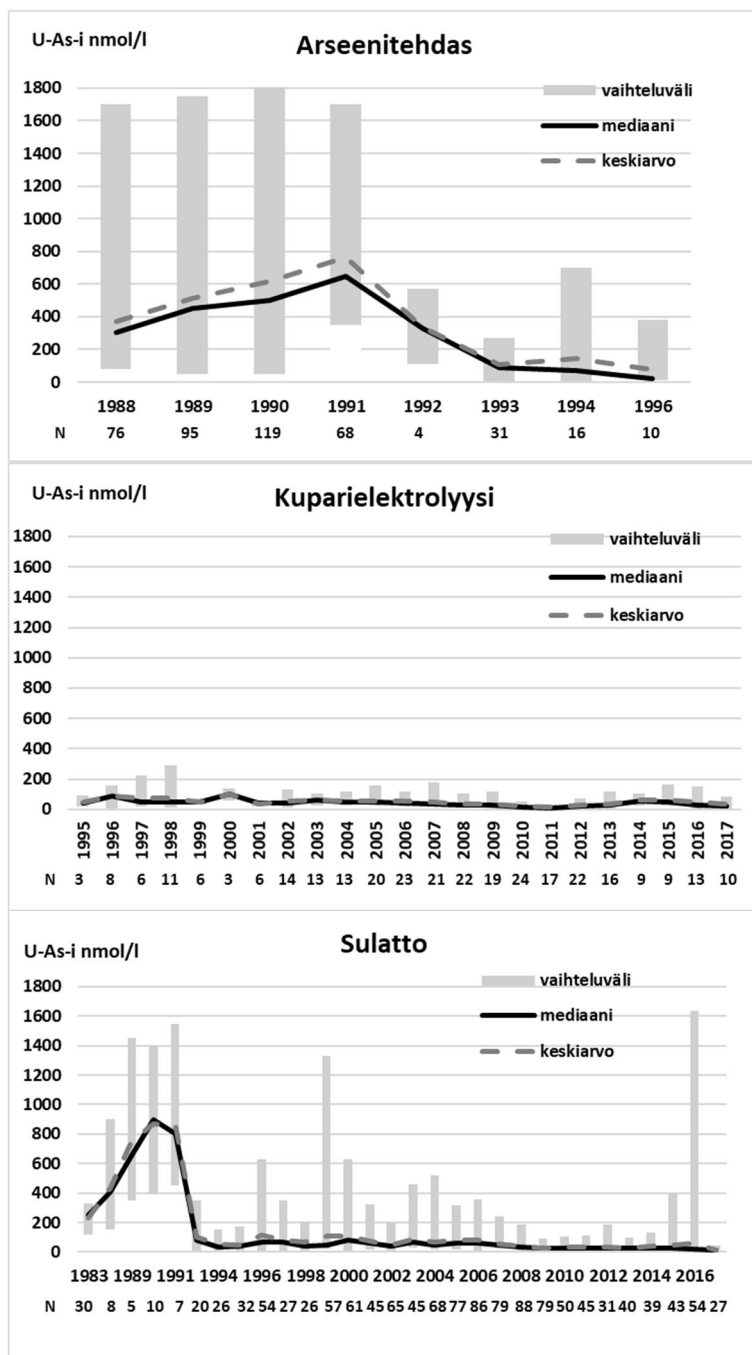
Kuva 24. Rikkihappotehdas. Virtsan epäorgaanisen arseenin (U-As-i, nmol/l) mediaanit, keskiarvot ja vaihteluväli seurantajakson aikana.

Oman mielenkiintoisen ryhmän muodostavat työnjohtajat, ohjaamotyöntekijät ja verstaustyöntekijät. Mittausten perusteella heidän altistumisensa on matalalla tasolla. (Kuva 25.)

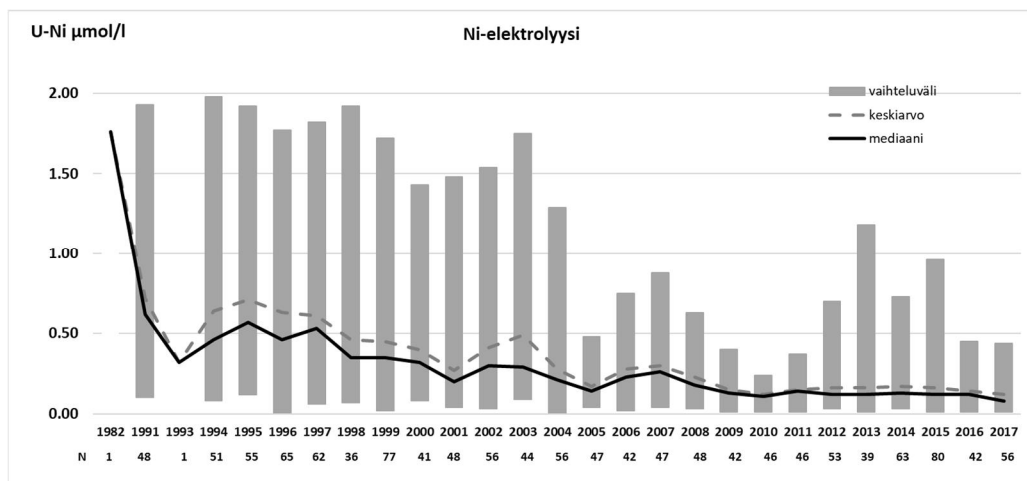
Vuositaitin mitattuja virtsan biomonitointituloksia oli saatavilla myös joistakin yksittäisistä samalla osastolla työskennelleistä työntekijöistä. Yli yhdeksän virtsan pitoisuuden mittausta oli tehty arseenin suhteen 145 työntekijältä ja nikkelin suhteen 83 työntekijältä. Kun näiden pitkään samoissa tehtävissä toimineiden työntekijöiden näytteistä laskettiin osastoittain pitoisuuksien mediaani keskiarvo ja vaihteluväli, niin voidaan havaita, etteivät ne poikenneet merkittävästi koko muun ryhmän pitoisuuksista. Virtsan epäorgaanisen arseenin pitoisuuksista vain kuparielektrolyysissä on havaittavissa vähemmän korkeita pitoisuuksia kuin koko ryhmässä. Vertaa kuvat 14,15,22 ja kuva 26. Nikkelin kohdalla pitkään työskennelleiden työntekijöiden keskimääräiset virtsan nikkelipitoisuudet olivat 1990-luvulta matalammat kuin muilla työntekijöillä. He osasivat suojautua paremmin altistumiselta. Vertaa kuvat 19 ja 27. Näistä tuloksista voidaan havaita, ettei metallien kertymistä ole tapahtunut nikkelinpuhdistusprosessissa. Myöskään henkilön iällä ei näyttäisi olevan merkitystä virtsan epäorgaanisen arseeni- tai nikkelipitoisuuksiin.



Kuva 25. Toimisto- ja verstaastyöntekijät, työnjohto. Virtsan epäorgaanisen arseenin (U-As-i, nmol/l) ja nikkelin (U-Ni, µmol/l) mediaanit, keskiarvot ja vaihteluväli seurantajakson aikana.

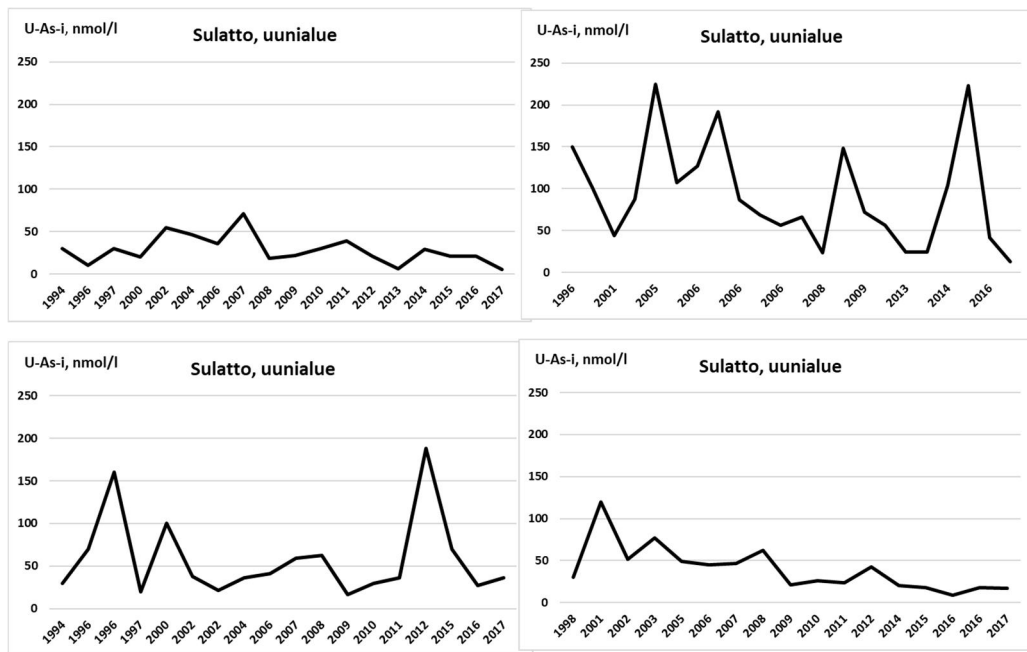


Kuva 26. Virtsan epäorgaanisen arseenin (U-As-i, nmol/l) pitoisuuksien mediaanit, keskiarvot ja vaihteluväli samalla osastolla työskennelleistä työntekijöistä seurantajaksone, joista oli tehty enemmän kuin 9 mittausa tutki-musjakson aikana.

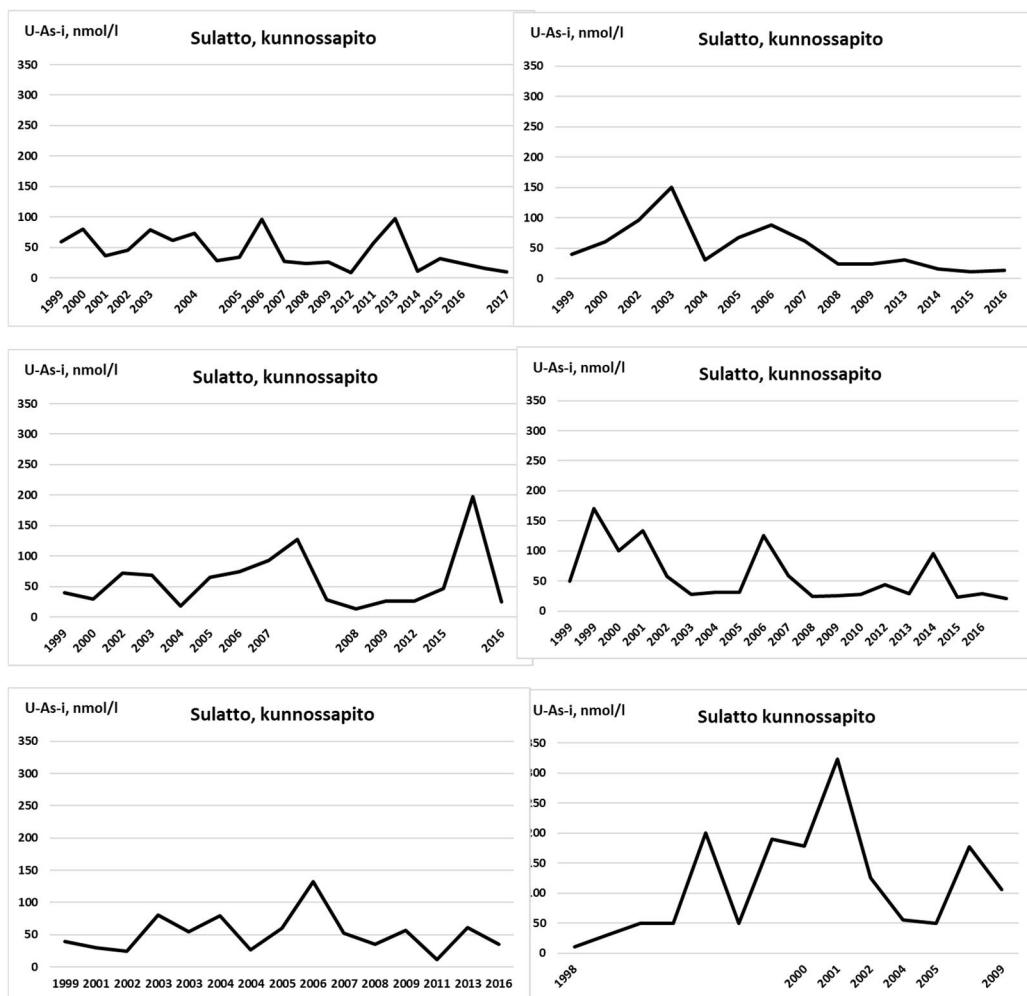


Kuva 27. Virtsan nikkeliin (U-Ni, µmol/l) pitoisuuksien mediaanit, keskiarvot ja vaihteluväli samalla osastolla työskennelleistä työntekijöistä seurantajaksona.

Kuviin 28- 30 on koottu tyypillisiä yhden henkilön seurantakuvia eri osastoilla. Kuvista voidaan havaita, että yksittäisten samanaikaisesti monitoroitujen henkilöiden työskentelyta-voilla on selvä merkitys altistumiseen. Kunnossapitotyöt saattavat altistaa hetkellisesti huomattavasti verrattuna tavalliseen työskentelyyn esimerkiksi sulatolla.

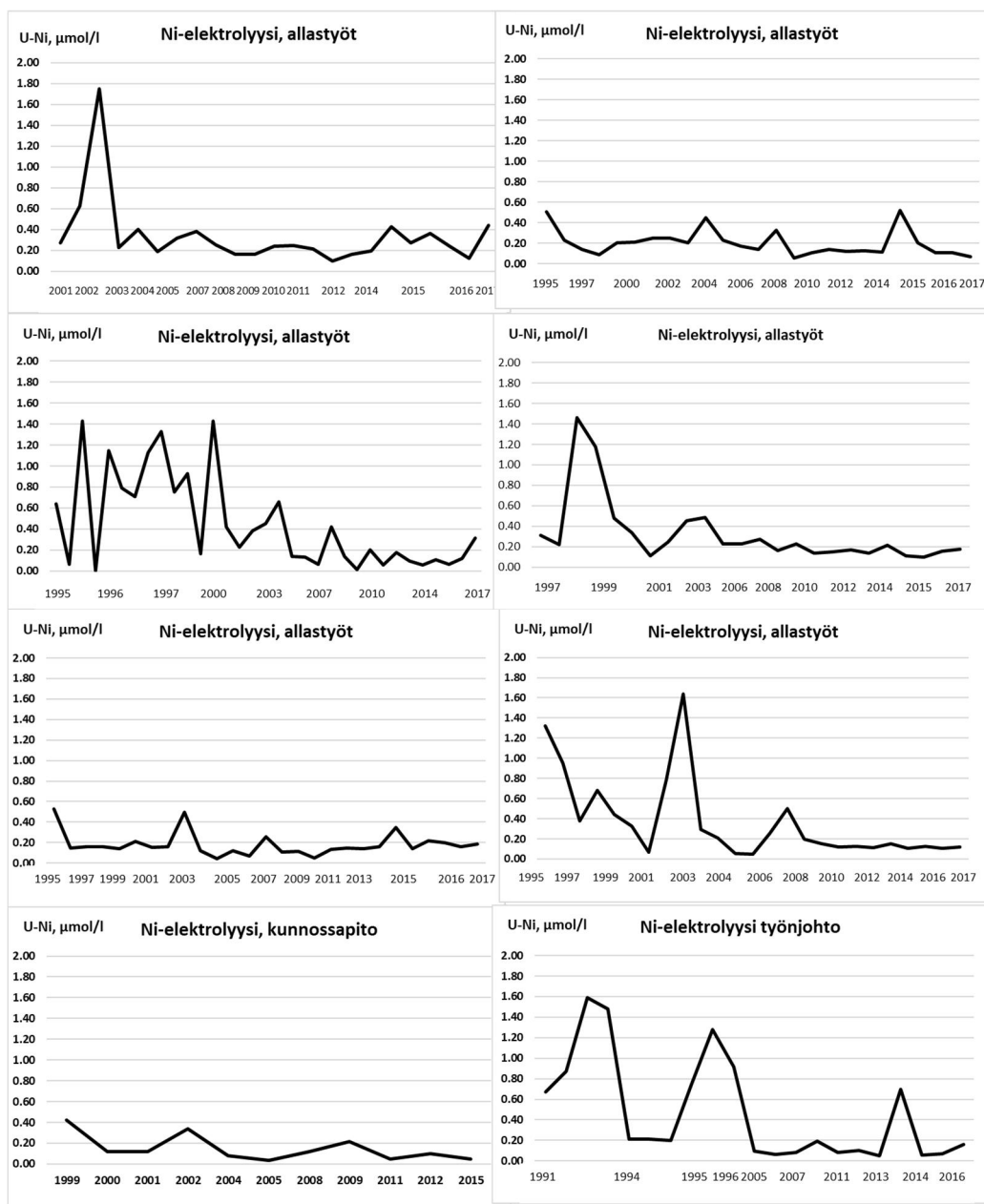


Kuva 28. Virtsan epäorgaanisen arseenin vaihtelu yksittäisillä sulaton työntekijöillä 1990-luvun alkupuolelta vuoteen 2017 asti. Asteikko 250 nmol/l.



Kuva 29. Virtsan epäorgaanisen arseenin vaihtelu yksittäisillä sulaton kunnossapidon työntekijöillä 1990-luvun alkupuolelta vuoteen 2017 asti. Asteikko 350 nmol/l.



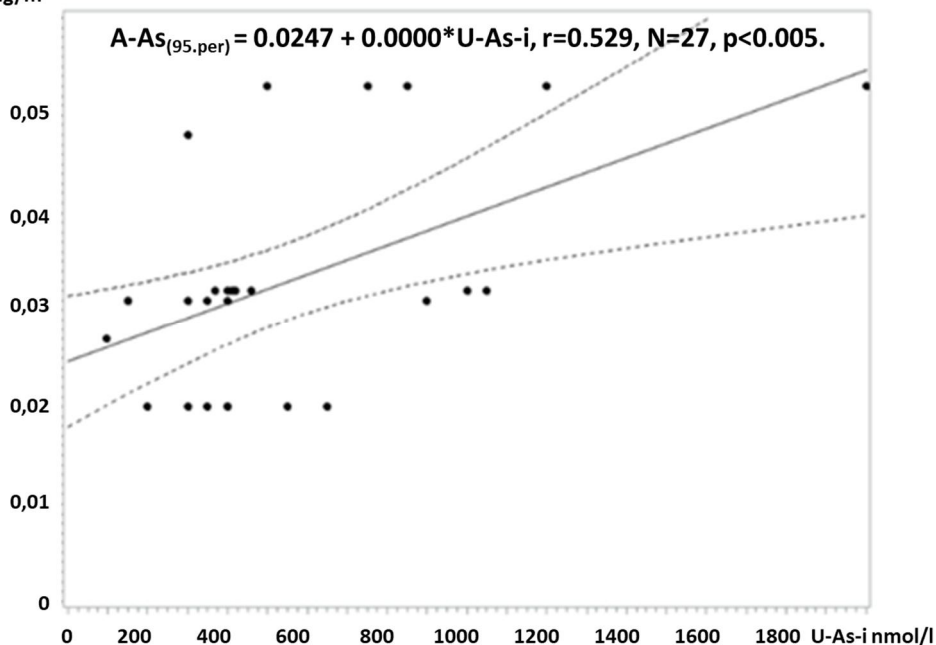


Kuva 30. Virtsan nikkelipitoisuuden vaihtelu yksittäisillä elektrolyysin työntekijöillä 1990-luvun alkupuolelta vuoteen 2017 asti. Asteikko 2,0  $\mu\text{mol/l}$ .

### 4.3 Ilman metallipitoisuuksien ja virtsan metallipitoisuuksien välisiä riippuvuuksia

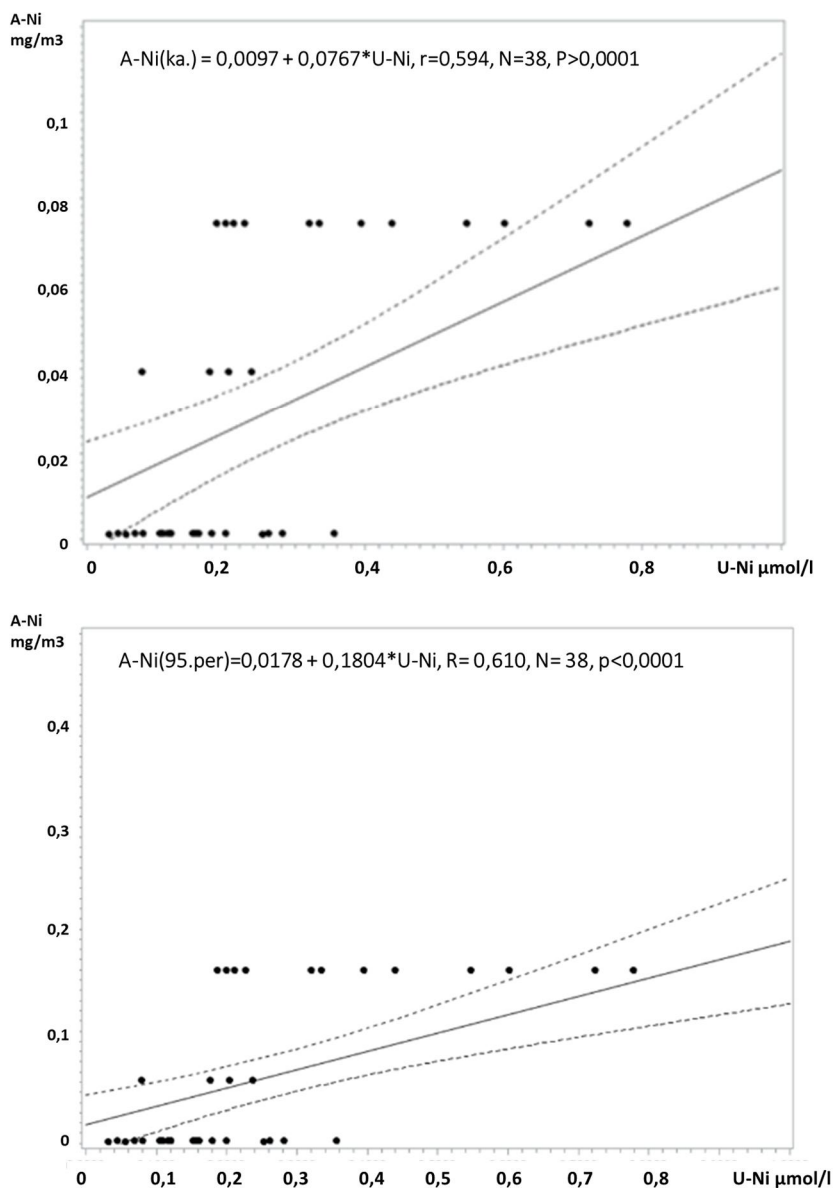
Biologisia mittauksia ja työhygieenisia mittaustuloksia verrattiin toisiinsa niin henkilötasolla, osasto ja työpistetasolla, kuukausitasolla ja vuositasolla. Tarkastelussa poistettiin kaikki sellaiset tulokset, jotka oli otettu päästölähteestä (ilman nikkelipitoisuus yli 2 mg/m<sup>3</sup>) tai jotka olivat selvästi kontaminoituneet näytteenotossa (virtsan nikkelipitoisuus yli 2 µmol/l tai virtsan epäorgaaninen arseenipitoisuus yli 2000 nmol/l). Tiedostot jaettiin laskennassa vielä kahteen eri ryhmään: ennen vuotta 1995 tehtyihin mittauksiin ja sen jälkeisiin, koska tuolloin tuli yleiseen käyttöön henkilökohtaiset hengityksen suojaimet. Riippuvuuksia katsottiin niin kuukausitason arvoista kuin vuositasolla. Ongelmana oli, että biologiset mittaukset ja ilman epäpitoisuuden mittaukset eivät olleet samanaikaisia vaan eri aikoina, jolloin havaintojen määrä jäi hyvin pieneksi ja kuukausitason vertailusta jouduttiin luopumaan. Jos arseenin kohdalla ei poisteta yhtään mittauspisteistä ja otetaan mukaan kaikki mittaukset ennen vuotta 1995 ja sen jälkeen, niin silloin löydetään korrelaatio 95. persentiiliin ja biologisten mittausten välillä hengitysvyöhykkeeltä tehdyissä mittauksissa. Myös tässä korostuu vuosittain tehtyjen ilman arseenipitoisuuksien 95. persentiili. (Kuva 31.)

A-As mg/m<sup>3</sup>



Kuva 31. Ilman (95.per) ja virtsan epäorgaanisen arseenin välinen korrelaatio

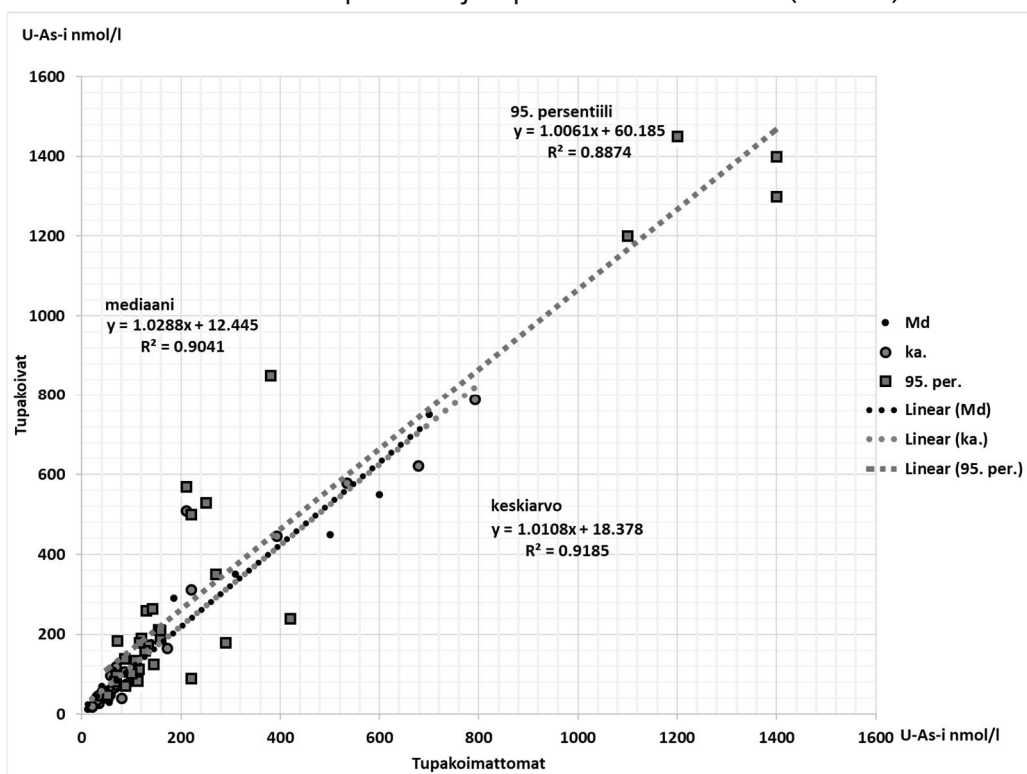
Ilman ja virtsan nikkelpitoisuuksien välisiä riippuvuuksia löydettiin Ni-elektrolyysissä ilman keskiarvopitoisuuden ja virtsan nikkelpitoisuuden välillä vuoden 1994 jälkeisissä mittauksissa, mutta jakauma perustui kaikissa ilman Ni-pitoisuuden mittauksissa yhteen yksittäiseen vuosikeskiarvoon ja hengitysvyöhykkeeltä tehdyissä mittauksissa kolmelle ilmapitoisuustasolle löydettyihin jakaumiin keskiarvossa ja 95. persenttiilissä. (Kuva 32.)



Kuva 32. Ilman (ka. ja 95.per) ja virtsan nikkelpitoisuuden väliset korrelaatiot.

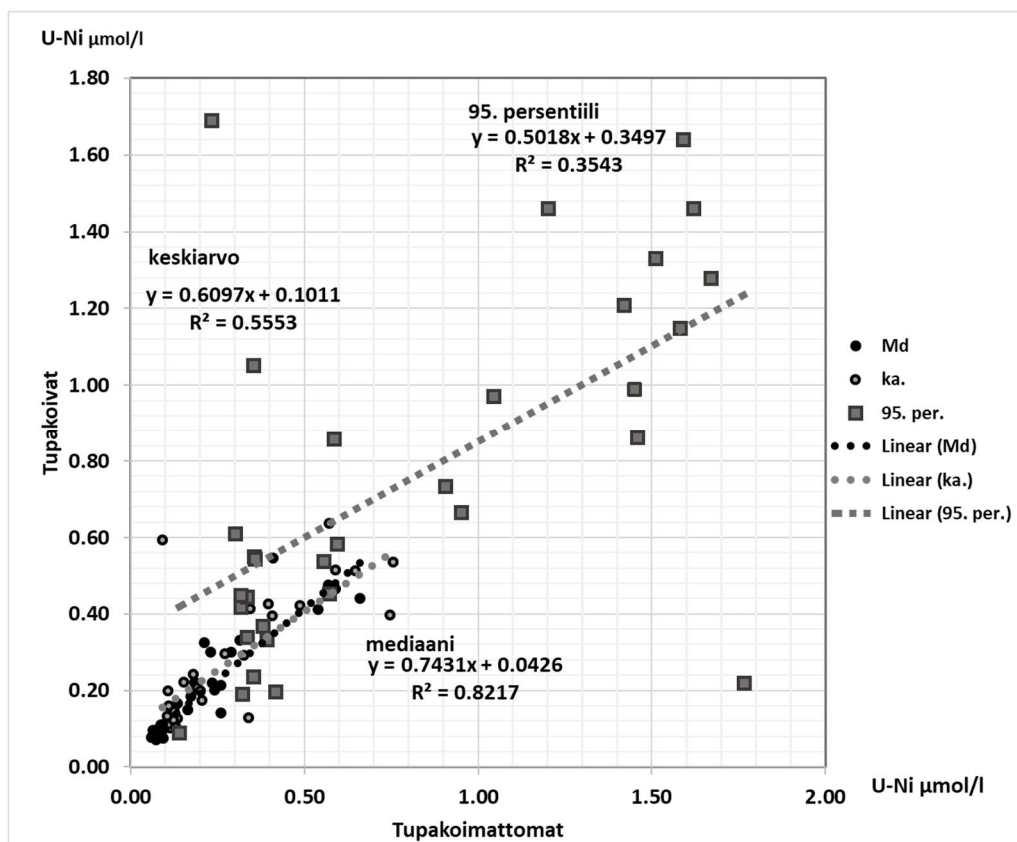
## 4.4 Tupakointi

Tupakoinnin vaikutusta virtsan epäorgaaniseen arseenipitoisuuteen katsottiin laskemalla mediaani, keskiarvo ja 95. persentiili vuosittain tupakoimattomilta ja tupakoivilta henkilöiltä ja vertaamalla tuloksia vuositason tasolla. Mediaani ja keskiarvopitoisuudet ja 95. persentiilien arvot olivat lähes identtiset. Yksittäisiä tuloksia verrattiin lisäksi kaksisuuntaisella T-testillä samoin kuin vuosittaisia mediaaneja, keskiarvoja ja 95. arvoja. Kokonaisuutena mitään tilastollista eroa ei havaittu tupakoivien ja tupakoimattomien välillä. (Kuva 33.)



Kuva 33. Virtsan epäorgaanisen arseenin ja tupakoinnin vuosimediaanien, keskiarvojen ja 95. persentiilien vastavuus.

Kuten arseeninkin kohdalla tupakoinnin vaikutusta virtsan nikkelipitoisuuteen katsottiin laskemalla mediaani, keskiarvo ja 95. persentiili vuosittain tupakoimattomilta ja tupakoivilta henkilöiltä ja vertaamalla tuloksia vuositason tasolla. Mediaani ja keskiarvopitoisuudet olivat lähes identtiset, mutta 95. persentiilien arvot hajosivat enemmän. Yksittäisiä tuloksia verrattiin lisäksi kaksisuuntaisella T-testillä samoin kuin vuosittaisia mediaaneja, keskiarvoja ja 95. arvoja. Kokonaisuutena mitään tilastollista eroa ei havaittu tupakoivien ja tupakoimattomien välillä. (Kuva 34.)



Kuva 34. Virtsan nikkelipitoisuuden ja tupakoinnin vuosimediaanien, keskiarvojen ja 95. persenttiilien vastaavuus.

## 4.5 Työperäisten sairauksien rekisteri

Työperäiseen sairauksien rekisteriin (TPSR) on koottu niin todetut ammattitaudit kuin ammattitautiesitykset. Vuodesta 2003 alkaen on tilastoitu erikseen ammattitaudit ja niiden epäilyt. Tätä ennen ei ole tietoa, kummasta oli kyse. Työperäisten sairauksien rekisteristä haettiin vastaavuudet yhtiöiden Harjavallan tehtailla työskennelleisiin henkilöihin, jotka olivat olleet tehtaalla töissä vuoden 1960 jälkeen. Heitä oli kaikkiaan 2300. Kaikkiaan 49 henkilöä löytyi rekisteristä. Diagnooseista valittiin ne, joilla saattoi olla yhteyttä kemikaali-altistumiseen, ja esimerkiksi kaikki TULES diagnoosit poistettiin ryhmästä, jolloin jäljelle jäi 14 tapausta. Näistä oli ammattitautina rekisteröity 1 kpl, ammattitautiepäilyinä 6 ja ennen vuotta 2003 oli 7 tapausta. Kun tarkasteltiin työskentelyaikaa Harjavallassa ja todetun tai epäilyn ammattitaudin rekisteröinti päivämäärää, niin havaittiin, että 6 tapausta oli rekisteröity ennen työnteon aloittamista tehtailla. Jäljellejäävistä kolme oli ammattitautiepäilyjä ja

lopun neljä (yhden henkilöllä kaksi eri diagnoosia) oli todettu ennen vuotta 2003. Näiden työtehtävät kuuluivat 'koneen- ja moottorinkorjaajat ym. huoltotyöntekijät', 'valimotyöntekijät', 'lämpökäsittelijät', 'sulatto- ja sulatusuunitehtävät' sekä 'pakkaajat, lajittelijat ym.' luokkiin. Näistä kahdessa altistava aine oli ollut rikkivety ja boori. Näin jäljelle jäi kolme tapausta, joissa aiheuttaja tai epäily oli 'metallien aiheuttama allerginen kosketushäiriö', 'muun aineen aiheuttama ei-allerginen kosketushäiriö' ja 'muu kosketushäiriö'. Nämä henkilöt olivat työskennelleet tehtävällä 3 kk, 7 ja 32 vuotta.

Tämän perusteella ei voida todeta, että tehtävällä esiintyisi normaali enemmän ammattitautteiksi luokiteltavia tapauksia. On myös mahdollista, että henkilöt, jotka jo kokevat työuransa alussa ärsytys ym. oireita hakeutuvat muualle työskentelemään.

## 4.6 Syövän esiintyminen ja tupakoinnin ja altistuksen vaikutus

Syöpärekisteristä haettiin keuhko-, nenä- ja sappisyöpiin liittyvät tiedot Harjavallan työntekijöille. Väestörekisteristä haettiin vastaavasti kyseisten henkilöiden kuolinpäivät. Tiedot yhdistettiin olemassa oleviin tupakointitietoihin ja työskentelyaikaan nikkelinpuhdistusprosessissa. Syöpätapauksia löydettiin kaikkiaan 85 henkilöä. Näistä neljällä oli todettu sappirakko tai sappitesyöpä, kuudella nenäontelon (nasal cavity) tai poskiontelo (maxillary sinus) syöpä. Lopuilla oli eriasteisia keuhkosyöpiä. Syövästä 49 kpl oli todettu 1900-luvulla ja 37 kpl 2000-luvulla. Tapauksista neljä oli naisia ja loput miehiä.

Tapauksille haettiin verrokkeja syntymävuoden ja sukupuolen mukaan muista altistuneista. Verrokkien tuli olla elossa tapauksen diagnosointipäivänä. Koska naisten määrä nikkelipuhdistuksessa on ollut ja on edelleen pieni, sopivien verrokkien löytäminen oli haastavaa erityisesti vanhemmille tapauksille. Tämän vuoksi tyydyttiin kahteen verrokkiin kutakin todettua syöpätapausta kohti.

Tapauksille ja verrokeille laskettiin altistumisaika siten, että diagnosointipäivästä vähennettiin kymmenen vuotta, koska se ei ole enää oleellinen näiden syöpien synnyn kannalta. Vuosittaiset altistuspäivät laskettiin kullekin henkilölle ja niiden määrällä kerrottiin vuosittainen ilman arseeni- ja nikkelipitoisuuden ja virtsan epäorgaanisen arseeni- ja nikkelipitoisuuksien mediaaniarvo, jolloin saatiin vuosittainen altistumisen määrä. Kunkin henkilön vuosittaiset altistumisen määrät koottiin kokonaisaltistumisaikaksi ja kokonaisaltistumisen määrät päivässä arseenin ja nikkelin suhteen niin ilma kuin virtsan metallipitoisuuksien suhteen. Mediaaniarvot saatiin siten, että ensimmäisen mittausvuoden arvo annettiin kaikille vuosille ennen sitä. Vuodet, joilla ei ollut mittaustuloksia saivat arvon, joka saatiin aiemmin mitatun mediaanin ja seuraavan mediaanin keskiarvona. Pitoisuudet laskettiin osastoittain siten, että muodostettiin kolme ryhmää osastoittain: kunnossapito, Ni-tehdas ja sulatto. Jos henkilö kuului sekä sulattoon että kunnossapitoon asetettiin hänet sulattoon ja vastaavasti Ni-elektrolyysiin. Tämä noudatti aiemmin tehdyn kohortin jakoa (7). Syövän

esiintymisen (SIR) laskelmaa ei tehty koska uusien tapausten määrä oli lisääntynyt vain vähän verrattuna edelliseen syöpäinsidenssitutkimukseen (7).

Altistumislähtöinen kohorttitutkimus tapausten ja verrokkien välillä tehtiin vertailemalla altistuksen ja/tai tupakoinnin ja sairauden esiintymissuhdetta eli suhteellisella riskillä- esiintymiseroavaisuudella. Altistuneet ryhmät olivat toistensa kaltaisia, koska verrokkien valinta oli tehty iän ja sukupuolen suhteen. Lisäksi altistumisajat olivat hyvin yhteneviä, koska työntekijöiden vaihtuvuus on ollut pieni nikkelin ja kuparin tuotannossa. Tupakointitietoja ei ollut saatavilla kaikille tapauksille, mutta niille, joille se oli olemassa, laskettiin suhteellinen riski. Se oli kuitenkin negatiivinen. Samoin tarkasteltiin altistumisaikaa ja altistumisen suhteellisia määriä, mutta mitään yli 1 olevaa merkittävyyttä ei löydetty ryhmien eroavuu-den välillä. Laskennat suoritettiin hyödyntäen useita logistisen regression malleja SAS-ohjelmistolla.

## 4.7 Harjavallan malli

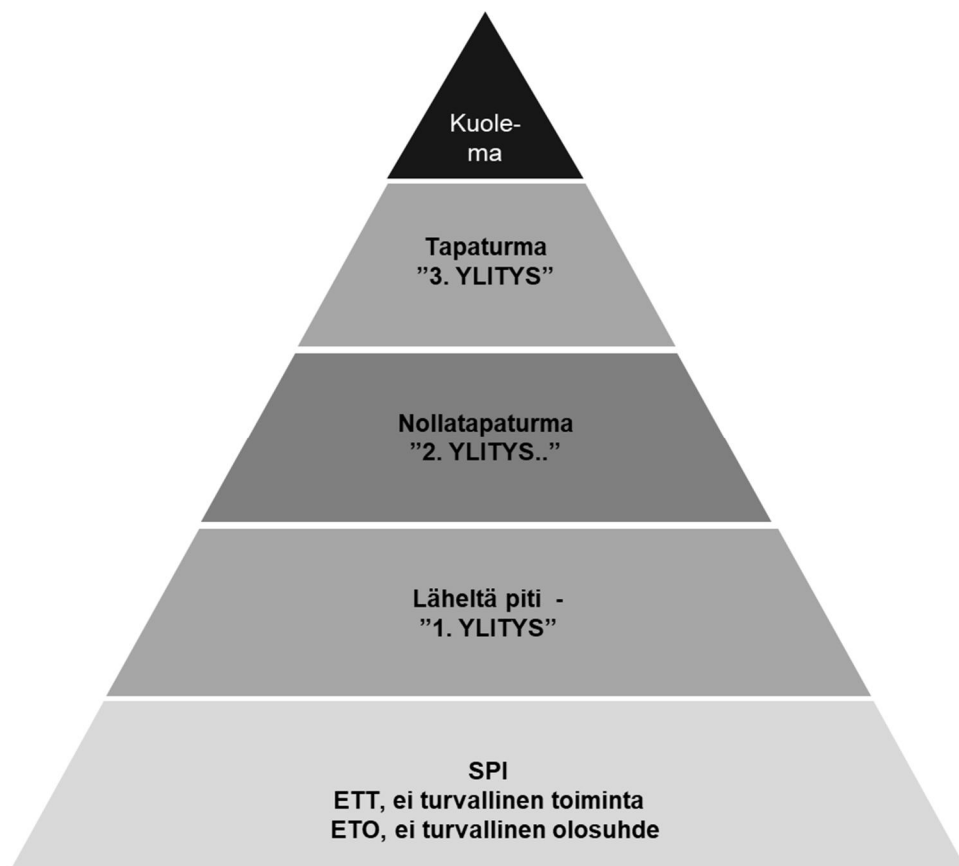
Harjavallan Suurteollisuuspuistossa on ollut käytössä työntekijän altistumisen hallintaan ja työhygienian kehittämisen liittyvä ns. Harjavallan malli. Tämä malli perustuu työntekijän kanssa käytävään altistumiskeskusteluun tilanteessa, jossa virtsan epäorgaanisen arseenin ja/tai nikkelin pitoisuus ylittää tehtaan asettaman hälytysrajan. Nikkelintuotannossa rajana on aiempina vuosina käytetty tasoa, joka on ollut selkeästi alhaisempi kuin aiemmin voimassa oleva ohjeraja-arvo virtsan nikkelille (1,30  $\mu\text{mol Ni/l}$ ). Nykyään käytössä on nikkelin ohjeraja-arvo (1). Boliden Harjavalla on käytössä arseenille oma ohje-raja-arvoa alempi tavoitetaso (50 nmol As/l), joka toimii altistumiskeskustelun indikaattorina.

Mallin lähtökohtana on ollut myös tarkoitus osallistaa esimiehet keskustelemaan työhygieniasta alaistensa kanssa, joka osaltaan tukee myös hyvää esimiestyötä ja tuo esille mahdollisia kehitys- ja toimenpide-ehdotuksia työhygienian parantamiseksi. Työntekijän biomonitorointituloksen ylittyminen johtaa keskusteluun, joka käydään ensin esimiehen kanssa. Keskustelussa käydään läpi työtehtävät, joissa henkilö työskenteli ennen näytteenantoa ja se oliko kyseessä olevan päivän (myös edellisen päivän) aikana tapahtunut jotain erityistä tai oliko työpäivä ollut muuten normaalista poikkeava. Selvitetään käytössä ollut suojain, käyttöaika ko. päivänä ja koska se oli viimeksi huollettu. Tämän jälkeen pohditaan yhdessä työntekijän kanssa mahdollinen juurisyy korkeampaan altistumiseen. Tapaamisen lopuksi sovitaan yhdessä toimenpiteet ja mahdollinen kontrollinäytteen ottoaika. Jos seuraavassakin näytteessä on koholla oleva arvo työterveyshuolto ja työturvallisuus osallistuvat seuraavaan keskusteluun. Edellä mainittujen lisäksi käydään läpi suojautuminen, suojainten oikea käyttö ja peseytyminen ja työvaatteiden vaihto ennen näytteenantoa ja/tai kotiin menoa. Hyvän henkilösuojautumisen lisäksi pyritään kehittämään työn tekemistä siten, että työvaiheissa otetaan huomioon myös oikean työhygieeninen toiminta. Tämä tarkoittaa mm. sitä, että eri koneiden ja laitteiden osat irrotetaan ja huolletaan ilman

ylimääräistä pölyttämistä tai sitä, että isommissa huoltotoissa suoritetaan mahdollisen irtopölyn poisto ennen työn aloittamista. Työn suorittaminen myös oikeassa työhygieenisessä järjestyksessä on oleellista. Työhygieenisesti oikein tehty työ vähentää myös työilman ja pintojen lisäpölyn määrää ja sitä kautta mm. tahatonta maha-suolikanavan altistumista.

Kyseistä menetelmää on testattu Bolidenin Kevitsan kaivoksella Sodankylässä, mutta sitä kehitetään edelleen sopivaksi kaivoksen olosuhteisiin. Prosessissa auttavat edelleen Harjavallan työterveyshuollon ja työsuojelun asiantuntijat, jotka ovat vierailleet kaivoksella projektin aikana ja ohjeistaneet useammissa keskusteluissa mallin käyttöä.

Mallilla on Harjavallassa saavutettu hyviä tuloksia, jotka näkyvät laskevana altistumistasoina työntekijöiden biologisissa näytteissä. Erittäin hyvän kuvan Harjavallan mallista saa työsuojelupäällikkö Jari Hämäläisen (NNH) piirtämästä kuvasta, jossa on yksinkertaistettu Harjavallan prosessi altistumisen ja työtapaturman välisestä yhteydestä. (Kuva 35)



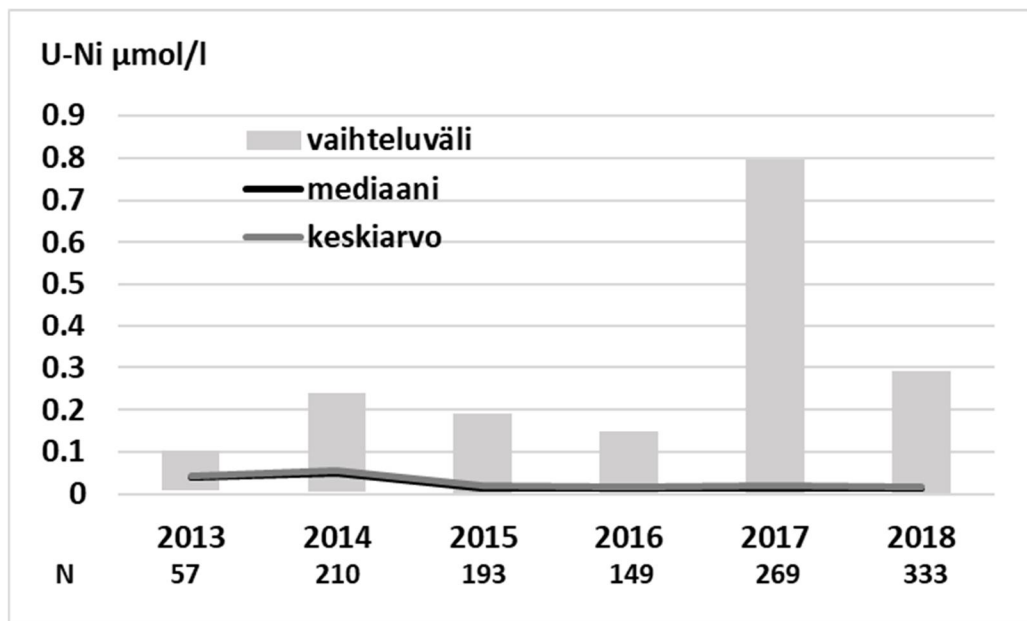
Liitteessä 1 on esitetty Harjavallan mallin mukainen keskustelupöytäkirja.



Kuva 35. Harjavallin mallin ja työturvallisen toiminnan vertailu. (Jari Hämäläinen, NNH 2018)

## 4.8 Altistuminen kaivostoiminnassa

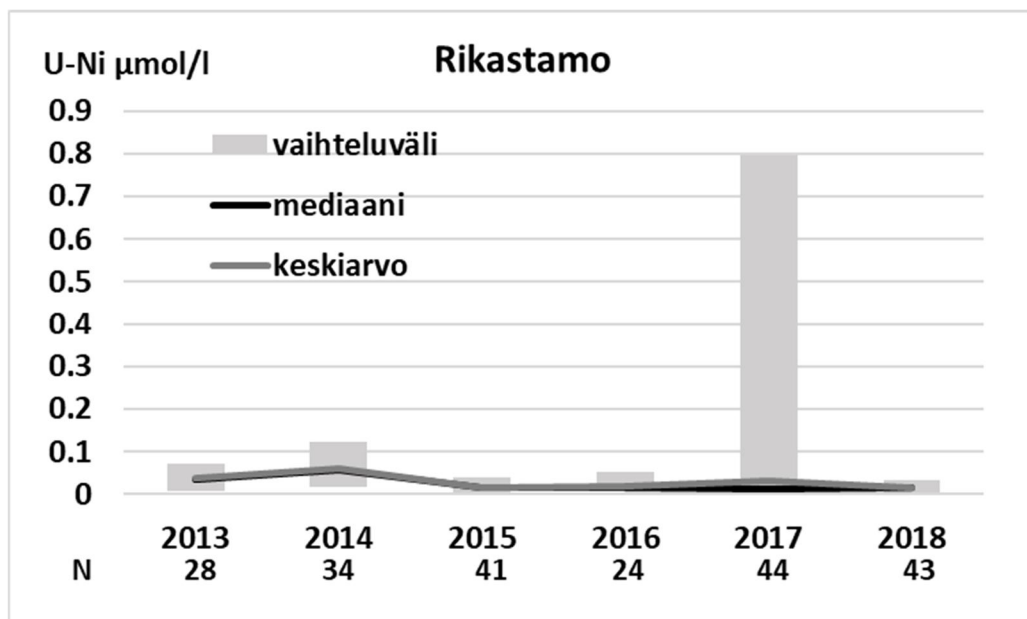
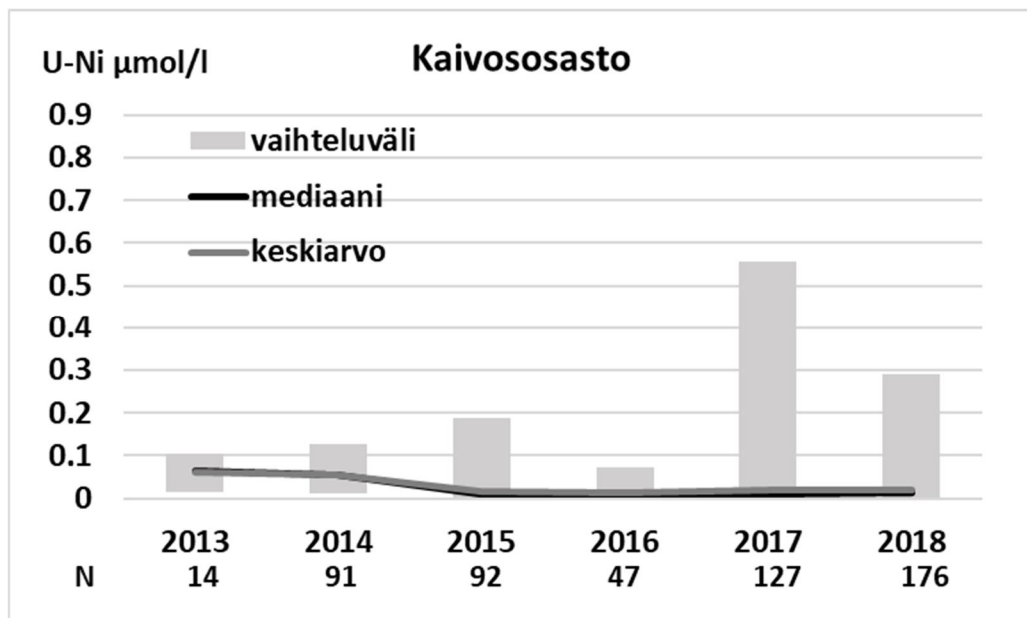
Bolidenin Kevitsan kaivoksella seurataan virtsan nikkelipitoisuuden mittauksilla altistumista. Harjavallan mallin soveltamista varten kaivoksen työntekijöiden nikkelialtistumisesta tehtiin vuosittainen seuranta, jotta koko nikkelintuotantoketun altistuminen tulee selvitettyä tässä projektissa. (Kuva 36) Lisäksi altistumista katsottiin osastoittain ja työtehtävittäin. Myös tupakan vaikutus altistumiseen selvitettiin kaksisuuntaisella T-testillä, mutta eroavaisuutta näiden ryhmien välillä ei havaittu.



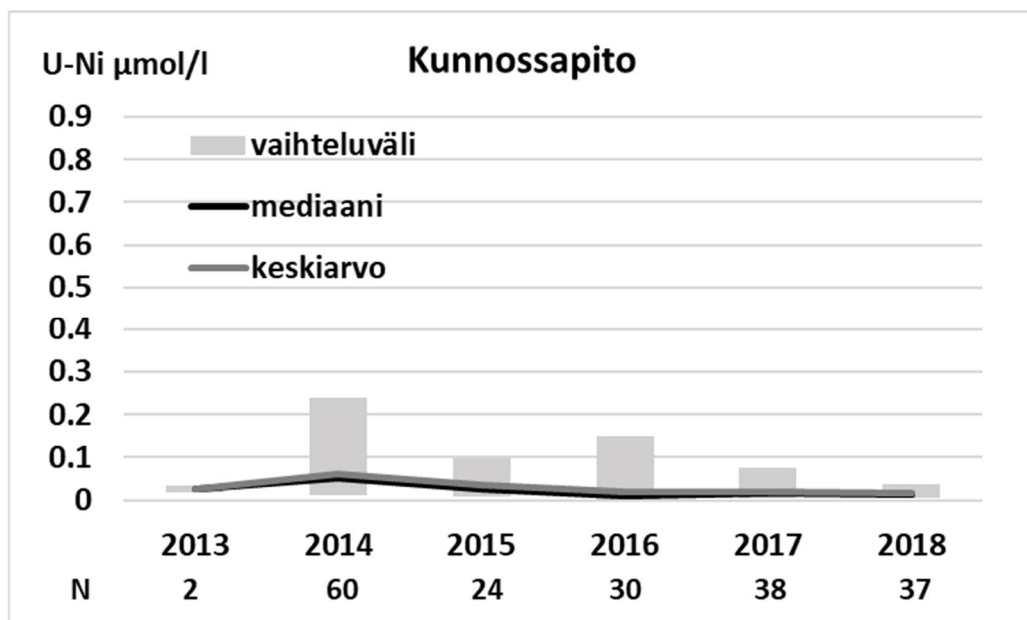
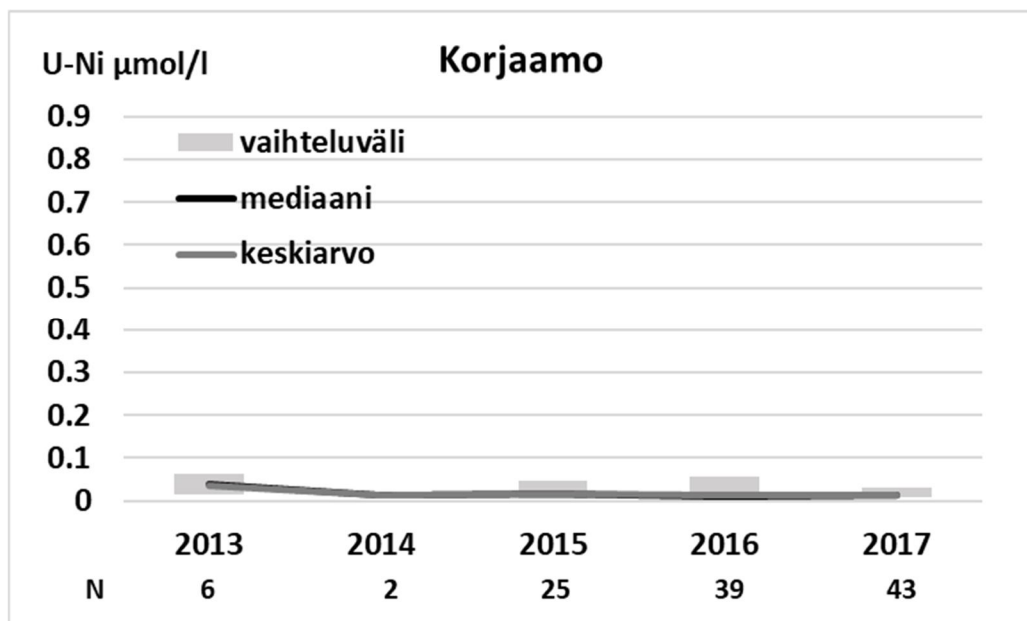
Kuva 36. Virtsan nikkelipitoisuuksien mediaanit, keskiarvot ja vaihteluväli vuosittain koko kaivoksessa.

Altistumista tarkasteltiin myös eri osastoittain ja työntekijäryhmissä. (Kuvat 33-36). Korjaamotyöntekijät huolehtivat kaivuskoneiden kuten kaivosautojen huollosta ja korjauksesta. Kunnossapitotyöntekijät kulkevat eri puolilla prosessia. Kuljettajat muodostuvat niin kaivosautojen kuin muiden kaivuskoneiden ohjaajista pois lukien porarit, joka on oma ryhmänsä. Virtsan nikkelipitoisuudet pysyttelivät keskiarvoisesti koko seurantajakson aikana alle 0,1 µmol/l ohjeraja-arvon (1). Vuonna 2017 havaittiin joitain yksittäisiä korkeampia pitoisuuksia kaivostoiminnassa ja rikastamolla.

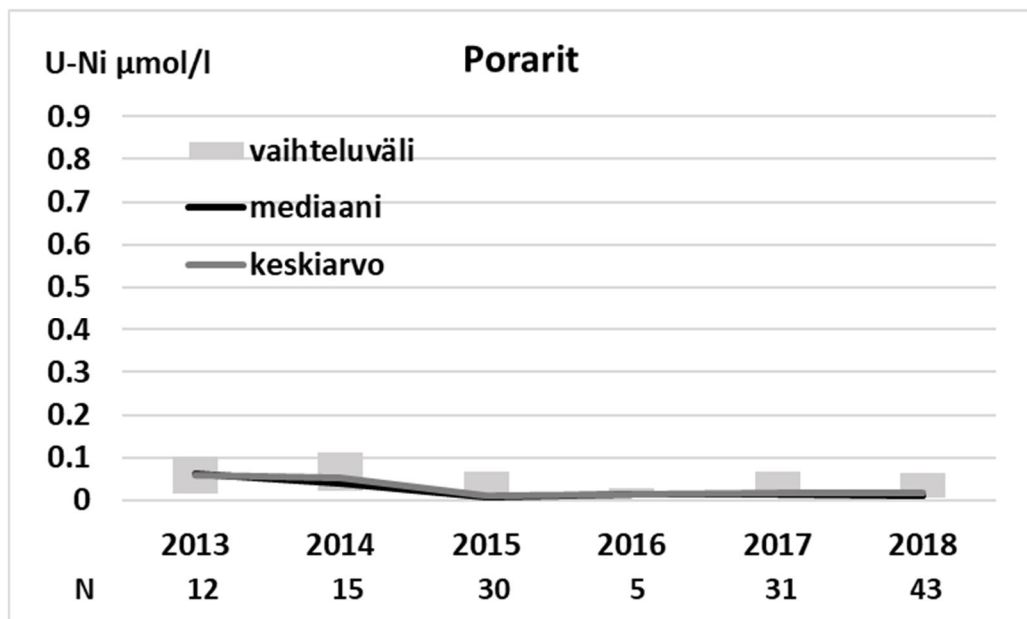
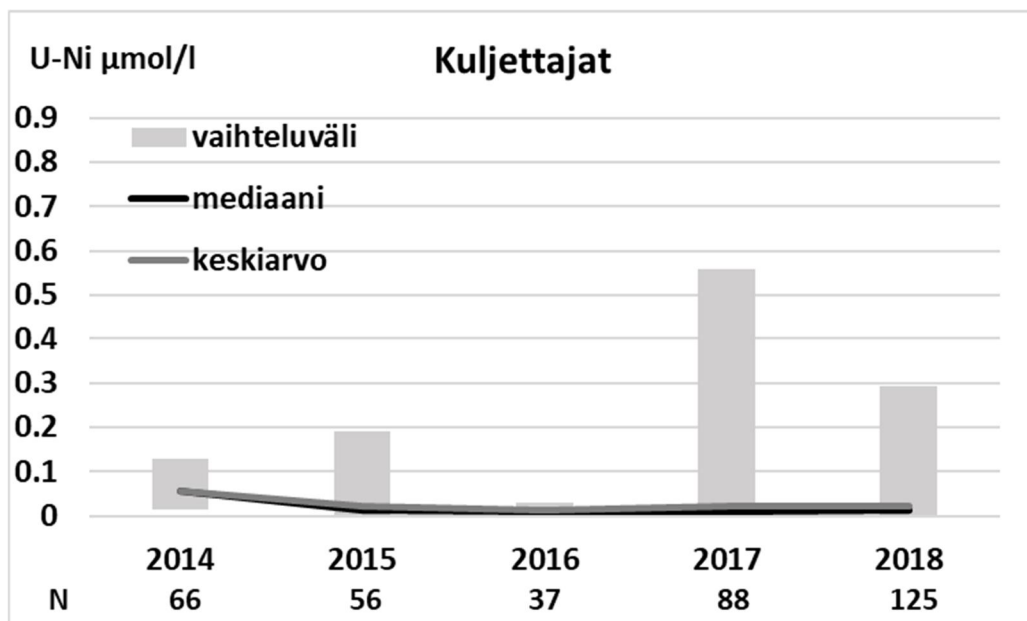




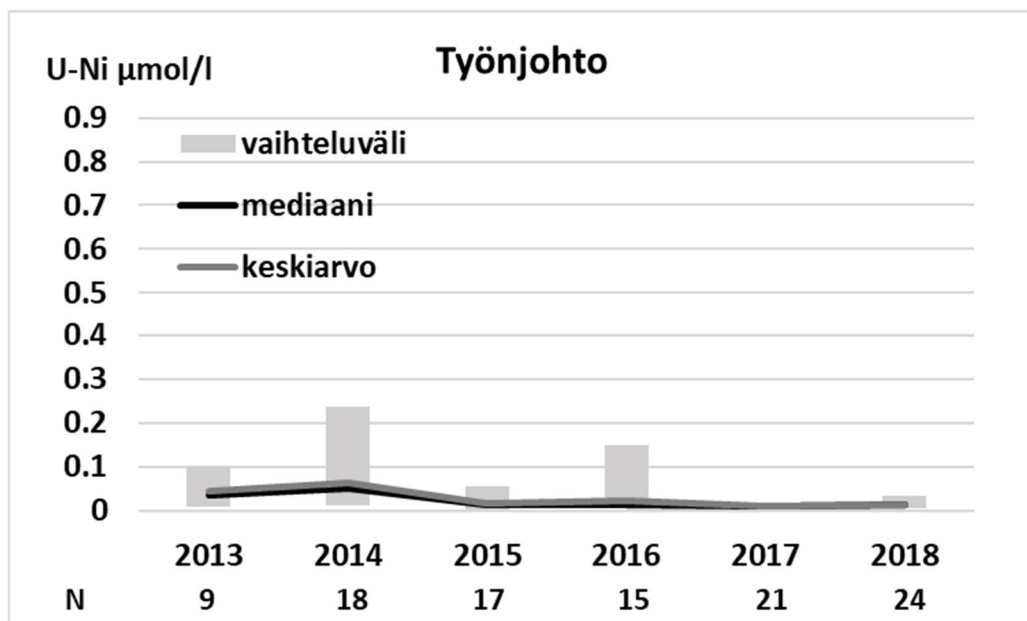
Kuva 37. Virtsan nikkelipitoisuuksien mediaanit, keskiarvot ja vaihteluväli vuosittain kaivososastolla ja rikastamolla.



Kuva 38. Virtsan nikkelipitoisuuksien mediaanit, keskiarvot ja vaihteluväli vuosittain korjaamossa ja kunnossapidossa.



Kuva 39. Virtsan nikkelipitoisuuksien mediaanit, keskiarvot ja vaihteluväli vuosittain kaivoskoneiden kuljettajilla ja porareilla.



Kuva 40. Virtsan nikkelipitoisuuksien mediaanit, keskiarvot ja vaihteluväli vuosittain työnjohtajilla.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tutkimuksessa työilmapitoisuuksien yhdistäminen saman aikaisiin virtsanäytteisiin ei tilastollisesti ollut mahdollista. Tämä johtuu siitä, että työilman kemikaalimittauksia ei oltu korreloitu ajallisesti biomonitoroinnin kanssa. Vasta vuoden 2010 jälkeen siirryttiin kupari- ja nikkelisulatossa mittausten synkronointiin ja nikkelitehtaalla vastaava mittaumuutos on siirtymävaiheessa.

Tulosten perusteella näyttää kuitenkin siltä, että työilman ja virtsan nikkelipitoisuudet eivät korreloi keskenään. Korrelaatio on huono osastotasolla sekä arseeni- että nikkelipitoisuuksia verrattaessa. Vuoden 2008 – 2018 välillä otetuissa mittauksissa todettiin korrelaatio lisäksi saman osastojen vuorojen välisten ja vuorojen sisäisten näytteiden välillä. Tuloksissa todettiin ajallinen vaihtelu saman nikkelielektrolyysin työntekijän kohdalla tehdyissä virtsan nikkelipitoisuusmittauksissa. Tämä siitakin huolimatta, että työntekijä oli mittausaikana altistunut saman suuruuselle työilman nikkelipitoisuudelle (Kuva 7). Todennäköisesti tämä tarkoittaa sekä eroja työntekijöiden välisessä työhygieenisessä käyttäytymisessä että mahdollisesti merkittävää tahatonta altistumista nikkelin siirtyessä työntekijän käsien ja kasvojen alueelta suuhun ja sitä kautta maha-suolikanavaan. Vuorojen välinen vaihtelu saattaa osin selittyä työnjohdollisilla tekijöillä, jolloin joissakin vuoroissa sallitaan vapaampi työhygieeninen työskentely. Lisäksi runsaasti nikkelä sisältävä ruokavalio voi yksilötasolla vaikuttaa virtsan nikkelipitoisuuteen ja sen vaihteluun (69).

Kuparisulatossa tehdyssä työilman ja virtsan korrelaatiotutkimuksessa (68) saatu hyvä virtsan ja työilman arseenipitoisuuden korrelaatio johtunee siitä, että tutkimusasetelmassa kiinnitetään erityistä huomiota hyvään työhygieniaan, jolloin maha-suolikanavan kautta tapahtuva altistuminen vähenee merkittävästi. Kun altistumista arvioidaan pidemmällä aikavälillä, kaikki mittaustulokset huomioiden, korrelaatio jäi kuitenkin selkeästi heikommaksi. Ks. kohta 4.3.

Tulosten perusteella henkilökohtaisen työhygienian merkitys korostuu arvioitaessa virtsan kemikaalipitoisuuden suhdetta todelliseen hengitysteitse tapahtuvaan altistumiseen. Tahaton maha-suolikanavan kautta tapahtuva altistuminen on estettävissä huomioimalla ja suunnittelemalla etukäteen etenkin ne työtehtävät, jotka ovat työhygieenisesti haastavia. Huonot työtavat voivat lisätä fyysistä kuormitusta ja siten myös altistumista työilman kemikaalille, lisääntyneen hengitystyön ja hikoilun takia. Riskinhallinnassa ei tulisi kuitenkaan aina päätyä johtopäätökseen, jossa lisätään hengityssuojaimen suojaustehoa. Pikemminkin tarvitaan koulutusta ja ohjausta hyvään työhygieeniseen työskentelyyn, johon tulee suhtautua samalla vakavuudella kuin muuhun työturvallisuuteen ja sen valvontaan. Hengityssuojaimen oikean käyttötavan osaaminen ei aina ole niin itsestään selvää ja suojaimen yksilöllinen sopivuus ja parta lisäävät ohivuotoa ja antavat siten väärää turvallisuuden tunnetta.



Työhygieenisesti tehokkaimmat toimenpiteet työilman nikkeli- ja arseenipitoisuuden alentamiseksi kohdistuvat prosessien kehittämiseen ja pinnoille levinneen pölyn poistamiseen. Tämän lisäksi tarvitaan muita toimenpiteitä, jotka pienentävät työntekijöiden kemikaalialtistumista ja/tai helpottavat mittaustulosten tulkintaa ja johtopäätösten tekoa. Näitä toimenpiteitä ovat:

1. Ajallisesti samanaikainen työilman kemikaalipitoisuuden ja biomonitoroinnin määrittäminen
2. Alveolijakeen mittaaminen hengittyvän jakeen sijaan
3. Työntekijän hengitysvyöhykemittaukset kiinteiden mittausten sijaan
4. Työhygieniakoulutuksen edelleen kehittäminen visualisointia hyödyntäen (mm. videoiden käyttö: hengityssuojaimen pukeminen, työvaatteiden riisuminen, työhygieenisesti oikein suoritettavat työvaiheet)
5. Suojainten säilytyksen ja huollon korostaminen
6. Ylityskeskusteluprosessin edelleen kehittäminen (miten toimitaan niiden työntekijöiden kohdalla, joilla on toistuvia biomonitorointitulosten ylityksiä?)
7. Yrityksen ja työterveyshuollon yhteiset työhygieeniset kierrokset

Työpaikan riskinarvioinnissa on mietittävä, milloin yksittäisen työntekijän riski on niin suuri, että hänet on siirrettävä muihin mahdollisesti vähemmän altisteisiin työtehtäviin tilanteissa, jossa hänellä on toistuvia biomonitoroinnin raja-arvojen ylityksiä. Etenkin silloin kun muut samaa työtä tekevät pystyvät toimimaan työssään altistumatta. Mitkään toimenpiteet tai suojaimet eivät kuitenkaan estä altistumista, jos työntekijän asenne tai tietotaito työhygieenisesti turvalliseen työskentelyyn ei ole riittävän korkea.

Tarkasteltaessa kuparin ja nikkelintuotantoprosesseissa työskennelleiden henkilöiden sairastavuutta työperäiseen arseenin tai nikkelin aiheuttamaan ammattitautiin voidaan todeta, että kyseessä olevassa henkilöstössä tällaista ei voitu havaita. Voi olla, että sellaiset henkilöt, jotka jo lyhyen työskentelyajan – yleensä kesäharjoittelun – aikana havaitsivat joitain oireita hakeutuvat muualle töihin.

Tutkimuksessa ei löydetty lisääntyneitä riskejä sairastua nenä- tai keuhkosyöpään verrattaessa sairastuneiden iän, sukupuolen, altistumishistorian ja altistumistasojen omaaviin verrokkeihin. Äskettäin julkaistun tutkimuksen (7) jälkeen tulleita syöpätapauksia oli niin vähän, ettei uutta vertailua koko väestöön tehty.

Tarkasteltaessa altistumispuiteolosuhteita eri vuosina voidaan havaita, että kuparielektrolyysissä arseenin ilmapitoisuuksien mediaanit ja keskiarvot – poikkeuksena vuoden 2003 arseenipitoisuus – ovat pysytelleet alle HTP-arvon, 0,01 mg/m<sup>3</sup> ja nikkelin kohdalla yhtä kiinteän pisteen mittausta lukuun ottamatta alle hengittyvän jakeen HTP-arvon, 0,05 mg/m<sup>3</sup> ja kannettavissa keräimissä keskiarvoiset pitoisuudet ovat olleet aina alle alveolijakeen HTP-arvon 0,01 mg/m<sup>3</sup> (1). Nikkelielektrolyysissä laskeva suuntaus on havaittavissa



vuosien varrella ja keskimääräiset pitoisuudet ovat olleet hengittyvän jakeen HTP-arvon alapuolella.

Myös sulatossa on havaittavissa vastaava tilanne. Kunnossapidossa havaitaan yksittäisiä korkeita pitoisuuksia, mutta myös siellä keskiarvoiset pitoisuudet ovat alle HTP-arvojen. Vastaavanlainen tilanne on raaka-aineiden käsittelyssä ja kemikaaliosastolla. Liuottamon puolella yksittäiset korkeat pitoisuudet nostavat keskiarvon joinain vuonna yli HTP-arvon. Sulatossa pölypitoisuudet saattavat joskus ylittää  $10 \text{ mg/m}^3$ , mutta nämä ovat olleet kiinteiden pisteiden näytteitä.

Biologiassa näytteissä näkyy arseenitehtaan toiminta (1988 – 1996) ja sen purku hyvin altistavana tekijänä. Tällöin virtsan arseenipitoisuudet olivat selvästi yli  $1000 \text{ nmol/l}$ , mutta myös siellä päästiin viimeisen 5 vuoden aikana keskiarvoisesti lähelle  $70 \text{ nmol/l}$  ohjeraja-arvoa. Kuparielektrolyysissä altistutaan lähinnä arseenille ja siellä keskiarvoiset pitoisuudet ovat olleet virtsan epäorgaaniselle arseenille joitain poikkeuksia lukuun ottamatta keskimääräisesti alle  $70 \text{ nmol/l}$  ja virtsan nikkelipitoisuudet alle  $0,2 \text{ } \mu\text{mol/l}$ .

Laboratoriossa tehdyissä mittauksissa on havaittavissa kohonneita arvoja näytteenottajien kohdalla. Etenkin vuosien 2010 ja 2014 aikana, joka voi johtua siitä, että he ovat hakeneet näytteitä mahdollisesti ilman hengityssuojaimia. Nykyään altistuminen on näytteenottajilakin matalalla tasolla.

Mittaustuloksia on kaikkein eniten nikkelielektrolyysistä ja siellä tehdyissä mittauksissa näkyy selvästi parantunut työhygieniä ja hengityssuojainten käyttöönotto. Keskimääräiset pitoisuustasot ovat alle virtsan epäorgaanisen arseenin ( $70 \text{ nmol/l}$ ) ja liukoisten nikkeliyhdisteiden ( $0,2 \text{ } \mu\text{mol/l}$ ) ohjeraja-arvojen. Sama pitoisuuksien laskeva trendi on nähtävissä myös sulatossa ja raaka-aineiden käsittelyssä.

Jos tarkastellaan työnjohtoa ja valvomotyöntekijöitä voidaan havaita, että siellä oli vielä 2000-luvun alussa ohjeraja-arvojen ylityksiä, mutta viime vuosina pitoisuudet ovat olleet alle sen.

Työnjohdon ja valvomotyöntekijöiden mittaustuloksissa oli vielä 2000-luvun alussa ohjeraja-arvojen ylityksiä, joita ei enää nykyisin ole havaittavissa kuin poikkeustilanteissa.

Tarkasteltaessa yksittäisten työntekijöiden altistumista voidaan havaita, että yksilölliset erot ovat suuria ja eroja on myös eri aikoina otettujen näytteiden pitoisuuksissa, silloinkin kun työilman kemikaalipitoisuus ei ole muuttunut. Kokonaisuutena myös tässä ryhmässä on keskimääräisissä pitoisuuksissa laskeva suuntaus.

Tupakointi ei ryhmätasolla näyttänyt lisäävän kemikaalialtistumista kuparin- ja nikkelin tuotantoprosessissa tai nikkelikaivoksella otettujen näytteiden perusteella. BoHa:n julkaisemattomassa tutkimuksessa on kuitenkin todettu osalla tupakoivista työntekijöistä varsin



korkeita virtsan arseenipitoisuuksia, jotka eivät selity työilman arseenipitoisuudella. Tupakkoinnin altistumista lisäävää vaikutusta ei pystytty havaitsemaan kaivoksella.

Työperäisestä arseeni- tai nikkelialtistumisesta johtuvien sairauksien määrä ei poikennut kontrolliryhmästä. Myöskään nenä- tai keuhkosyöpään sairastuneiden ikä, tupakointi tai työperäinen altistumisaika tai altistumispitoisuus ei poikennut verrokkien taustasta.

## 6 JATKOTOIMENPITEET

Maha-suolikanavan kautta tapahtuvaa kemikaalialtistumista tulisi selvittää yksityiskohtaisemmin etenkin koulutuksen ja työhygienian kehittämisen tarpeiden takia. Koulutuksessa ja ohjauksessa tulisi olla käytettävissä mittaustuloksia, jotka objektiivisesti osoittaisivat työntekijäkohtaisesti arseeni/nikkelipölyn määrän, jolla on mahdollisuus päätyä suuonteloon. Tällaisia mittauksia voivat olla esim. ennen ruokailua tapahtuvat suunympäristön ja/tai käsien ja hengityssuojainten huollon riittävyyden osoittamiseksi (suojaimen sisäpinta, suojainkaappi) otetut pyyhintänäytteet.

Harjavallan mallin käyttö ylityskeskusteluissa on osoittautunut hyödylliseksi niin nikkelinpuhdistuksessa kuin kaivostoiminnassa. Mallin käyttöä ja sisältöä tulee edelleen kehittää mm. harkitsemalla videoinnin tehokkaampaa käyttöönottoa.

Edellisten lisäksi tulisi selvittää minkälaisia toimintamalleja on käytössä yrityksissä, joissa tehdään sekä ilman työhygieenisia mittauksia että kemikaalien biomonitorointeja. Miten näitä tuloksia arvioidaan, miten niitä käytetään ja minkälaisia prosesseja ylitystapauksissa on käytössä.

## LÄHTEET

1. Sosiaali- ja terveysministeriö. HTP-arvot 2018. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö; 2018.
2. FINJEM. Suomen työaltistematriisi FINJEM (Finnish job-exposure matrix). Helsinki: Työterveyslaitos; 2016.
3. Karjalainen S, Kerttula R, Pukkala E. Cancer Risk among Workers at a Copper Nickel Smelter and Nickel Refinery in Finland. *Int Arch Occ Env Hea*. 1992;63(8):547-51.
4. Andersen A, Berge SR, Engeland A, Norseth T. Exposure to nickel compounds and smoking in relation to incidence of lung and nasal cancer among nickel refinery workers. *Occup Environ Med*. 1996;53(10):708-13.
5. Anttila A, Pukkala E, Aitio A, Rantanen T, Karjalainen S. Update of cancer incidence among workers at a copper/nickel smelter and nickel refinery. *Int Arch Occ Env Hea*. 1998;71(4):245-50.
6. Grimsrud TK, Berge SR, Martinsen JI, Andersen A. Lung cancer incidence among Norwegian nickel-refinery workers 1953-2000. *J Environ Monitor*. 2003;5(2):190-7.
7. Pavela M, Uitti J, Pukkala E. Cancer incidence among copper smelting and nickel refining workers in Finland. *Am J Ind Med*. 2017;60(1):87-95.
8. Moulin JJ, Wild P, Mantout B, Fournierbetz M, Mur JM, Smagghe G. Mortality from Lung-Cancer and Cardiovascular-Diseases among Stainless-Steel Producing Workers. *Cancer Cause Control*. 1993;4(2):75-81.
9. Sjögren B, Hansen KS, Kjuus H, Persson PG. Exposure to Stainless-Steel Welding Fumes and Lung-Cancer - a Metaanalysis. *Occup Environ Med*. 1994;51(5):335-6.
10. Moulin JJ, Clavel T, Roy D, Dananche B, Marquis N, Fevotte J, et al. Risk of lung cancer in workers producing stainless steel and metallic alloys. *Int Arch Occ Env Hea*. 2000;73(3):171-80.
11. Huvinen M, Pukkala E. Cancer incidence among Finnish ferrochromium and stainless steel production workers in 1967-2011: a cohort study. *Bmj Open*. 2013;3(11).
12. Seilkop SK, Oller AR. Respiratory cancer risks associated with low-level nickel exposure: an integrated assessment based on animal, epidemiological, and mechanistic data. *Regul Toxicol Pharm*. 2003;37(2):173-90.
13. Hassler E, Lind B, Nilsson B, Piscator M. Urinary and fecal elimination of nickel in relation to air-borne nickel in a battery factory. *Ann Clin Lab Sci*. 1983;13(3):217-24.

14. International Agency for Research on Cancer (IARC). Nickel and Nickel Compounds. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Chromium, Nickel and Welding. 49. Geneva: IARC, WHO; 1990. p. 257-446.
15. Goodman JE, Prueitt RL, Dodge DG, Thakali S. Carcinogenicity assessment of water-soluble nickel compounds. *Crit Rev Toxicol*. 2009;39(5):365-417.
16. Muñoz A, Costa M. Elucidating the mechanisms of nickel compound uptake: a review of particulate and nano-nickel endocytosis and toxicity. *Toxicol Appl Pharmacol*. 2012;260(1):1-16.
17. International Agency for Research on Cancer (IARC). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Nickel and nickel compounds. . Geneva: IARC, WHO; 2012.
18. Hostynek JJ, Dreher F, Nakada T, Schwindt D, Anigbogu A, Maibach HI. Human stratum corneum adsorption of nickel salts. Investigation of depth profiles by tape stripping in vivo. *Acta Derm Venereol Suppl (Stockh)*. 2001(212):11-8.
19. Hostynek JJ, Dreher F, Pelosi A, Anigbogu A, Maibach HI. Human stratum corneum penetration by nickel. In vivo study of depth distribution after occlusive application of the metal as powder. *Acta Derm Venereol Suppl (Stockh)*. 2001(212):5-10.
20. Sunderman FW, Jr., Dingle B, Hopfer SM, Swift T. Acute nickel toxicity in electroplating workers who accidentally ingested a solution of nickel sulfate and nickel chloride. *Am J Ind Med*. 1988;14(3):257-66.
21. World Health Organization & International Programme on Chemical Safety. Nickel. Geneva: World Health Organization; 1991. 383 p.
22. Benson J, Carpenter R, Hahn F, Haley P, Hanson R, Hobbs C, et al. Comparative inhalation toxicity of nickel subsulfide to F344/N rats and B6C3F1 mice exposed for 12 days. *Fundam Appl Toxicol*. 1987;9(2):251-65.
23. Dunnick JK, Elwell MR, Benson JM, Hobbs CH, Hahn FF, Haly PJ, et al. Lung toxicity after 13-week inhalation exposure to nickel oxide, nickel subsulfide, or nickel sulfate hexahydrate in F344/N rats and B6C3F1 mice. *Fundam Appl Toxicol*. 1989;12(3):584-94.
24. Grandjean P. Human exposure to nickel. In: Sunderman FJ, Aitio A, Berlin A, Bishop C, Buringh E, Davis W, et al., editors. Nickel in the Human Environment. IARC Scientific Publication 53. Lyon: IARC; 1984. p. 469-85.
25. Antonini J, Roberts J, Stone S, Chen B, Schwegler-Berry D, Chapman R, et al. Persistence of deposited metals in the lungs after stainless steel and mild steel welding fume inhalation in rats. *Arch Toxicol*. 2011;85(5):486-98.

26. Sunderman FW, Jr., Hopfer SM, Sweeney KR, Marcus AH, Most BM, Creason J. Nickel absorption and kinetics in human volunteers. *Proc Soc Exp Biol Med*. 1989;191(1):5-11.
27. Ishimatsu S, Kawamoto T, Matsuno K, Kodama Y. Distribution of Various Nickel Compounds in Rat Organs after Oral-Administration. *Biol Trace Elem Res*. 1995;49(1):43-52.
28. Report EURA. Nickel and Nickel Compunds. Rapporteur for the risk assessment of Nickel is Denmark; 2008.
29. Tossavainen A, Nurminen M, Mutanen P, Tola S. Application of mathematical modelling for assessing the biological half-times of chromium and nickel in field studies. *Br J Ind Med*. 1980;37(3):285-91.
30. Nielsen GD, Soderberg U, Jorgensen PJ, Templeton DM, Rasmussen SN, Andersen KE, et al. Absorption and retention of nickel from drinking water in relation to food intake and nickel sensitivity. *Toxicol Appl Pharmacol*. 1999;154(1):67-75.
31. Horak E, Sunderman FW, Jr. Fecal nickel excretion by healthy adults. *Clin Chem*. 1973;19(4):429-30.
32. Järup L, Pershagen G, Wall S. Cumulative Arsenic Exposure and Lung-Cancer in Smelter Workers - a Dose-Response Study. *Am J Ind Med*. 1989;15(1):31-41.
33. Enterline P, Marsh G. Cancer among workers exposed to arsenic and other substances in a copper smelter. *Am J Epidemiol*. 1982;116(6):895-911.
34. Lubin J, Pottem L, Stone B, Fraumeni JJ. Respiratory cancer in a cohort of copper smelter workers: results from more than 50 years of follow-up. *Am J Epidemiol*. 2000;151(6):554-65.
35. Lubin JH, Moore LE, Fraumeni JF, Jr., Cantor KP. Respiratory cancer and inhaled inorganic arsenic in copper smelters workers: a linear relationship with cumulative exposure that increases with concentration. *Environ Health Perspect*. 2008;116(12):1661-5.
36. Enterline PE, Day R, Marsh GM. Cancers related to exposure to arsenic at a copper smelter. *Occup Environ Med*. 1995;52(1):28-32.
37. Aitio A. Arsenic and arsenic compounds. Geneva: WHO; 2001.
38. Chen CJ, Chen CW, Wu MM, Kuo TL. Cancer Potential in Liver, Lung, Bladder and Kidney Due to Ingested Inorganic Arsenic in Drinking-Water. *Brit J Cancer*. 1992;66(5):888-92.
39. Chen CJ, Hsueh YM, Lai MS, Shyu MP, Chen SY, Wu MM, et al. Increased Prevalence of Hypertension and Long-Term Arsenic Exposure. *Hypertension*. 1995;25(1):53-60.

40. Chen CJ, Chiou HY, Chiang MH, Lin LJ, Tai TY. Dose-response relationship between ischemic heart disease mortality and long-term arsenic exposure. *Arterioscl Thromb Vas.* 1996;16(4):504-10.
41. Lamm SH, Luo ZD, Bo FB, Zhang GY, Zhang YM, Wilson R, et al. An epidemiologic study of arsenic-related skin disorders and skin cancer and the consumption of arsenic-contaminated well waters in Huhhot, Inner Mongolia, China. *Hum Ecol Risk Assess.* 2007;13(4):713-46.
42. Liu J, Waalkes MP. Liver is a target of arsenic carcinogenesis. *Toxicol Sci.* 2008;105(1):24-32.
43. Kyle RA, Pease GL. Hematologic Aspects of Arsenic Intoxication. *N Engl J Med.* 1965;273:18-23.
44. Morton WE, Caron GA. Encephalopathy: an uncommon manifestation of workplace arsenic poisoning? *Am J Ind Med.* 1989;15(1):1-5.
45. Pu YS, Yang SM, Huang YK, Chung CJ, Huang SK, Chiu AW, et al. Urinary arsenic profile affects the risk of urothelial carcinoma even at low arsenic exposure. *Toxicol Appl Pharmacol.* 2007;218(2):99-106.
46. Lagerkvist BJ, Zetterlund B. Assessment of Exposure to Arsenic among Smelter Workers - a 5-Year Follow-Up. *Am J Ind Med.* 1994;25(4):477-88.
47. Lagerkvist B, Linderholm H, Nordberg GF. Vasospastic tendency and Raynaud's phenomenon in smelter workers exposed to arsenic. *Environ Res.* 1986;39(2):465-74.
48. Pinto SS, Varner MO, Nelson KW, Labbe AL, White LD. Arsenic trioxide absorption and excretion in industry. *J Occup Med.* 1976;18(10):677-80.
49. Hine CH, Pinto SS, Nelson KW. Medical problems associated with arsenic exposure. *J Occup Med.* 1977;19(6):391-6.
50. Tseng CH, Chong CK, Chen CJ, Tai TY. Dose-response relationship between peripheral vascular disease and ingested inorganic arsenic among residents in blackfoot disease endemic villages in Taiwan. *Atherosclerosis.* 1996;120(1-2):125-33.
51. Navas-Acien A, Sharrett AR, Silbergeld EK, Schwartz BS, Nachman KE, Burke TA, et al. Arsenic exposure and cardiovascular disease: a systematic review of the epidemiologic evidence. *Am J Epidemiol.* 2005;162(11):1037-49.
52. Navas-Acien A, Silbergeld EK, Streeter RA, Clark JM, Burke TA, Guallar E. Arsenic exposure and type 2 diabetes: a systematic review of the experimental and epidemiological evidence. *Environ Health Perspect.* 2006;114(5):641-8.

53. Rahman M, Tondel M, Ahmad SA, Chowdhury IA, Faruquee MH, Axelson O. Hypertension and arsenic exposure in Bangladesh. *Hypertension*. 1999;33(1):74-8.
54. Rahman M, Vahter M, Sohel N, Yunus M, Wahed MA, Streatfield PK, et al. Arsenic exposure and age and sex-specific risk for skin lesions: a population-based case-referent study in Bangladesh. *Environ Health Perspect*. 2006;114(12):1847-52.
55. Ahsan H, Chen Y, Parvez F, Zablotska L, Argos M, Hussain I, et al. Arsenic exposure from drinking water and risk of premalignant skin lesions in Bangladesh: baseline results from the Health Effects of Arsenic Longitudinal Study. *Am J Epidemiol*. 2006;163(12):1138-48.
56. The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards: National Institute for Occupational Safety and Health; 2007.
57. Vahter M, Friberg L, Rahnster B, Nygren A, Noller P. Airborne arsenic and urinary excretion of metabolites of inorganic arsenic among smelter workers. *Int Arch Occup Environ Health*. 1986;57(2):79-91.
58. Pomroy C, Charbonneau SM, McCullough RS, Tam GK. Human retention studies with 74As. *Toxicol Appl Pharmacol*. 1980;53(3):550-6.
59. Vahter M, Norin H. Metabolism of 74As-labeled trivalent and pentavalent inorganic arsenic in mice. *Environ Res*. 1980;21(2):446-57.
60. Yamauchi H, Yamamura Y. Metabolism and excretion of orally administered arsenic trioxide in the hamster. *Toxicology*. 1985;34(2):113-21.
61. International Agency for Research on Cancer (IARC). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Some Metals and Metallic Compounds. Geneva: IARC, WHO; 1980.
62. Li L, Ekstrom EC, Goessler W, Lonnerdal B, Nermell B, Yunus M, et al. Nutritional status has marginal influence on the metabolism of inorganic arsenic in pregnant Bangladeshi women. *Environ Health Persp*. 2008;116(3):315-21.
63. Wood TC, Salavagionne OE, Mukherjee B, Wang L, Klumpp AF, Thomae BA, et al. Human arsenic methyltransferase (AS3MT) pharmacogenetics: gene resequencing and functional genomics studies. *J Biol Chem*. 2006;281(11):7364-73.
64. Styblo M, Del Razo LM, LeCluyse EL, Hamilton GA, Wang C, Cullen WR, et al. Metabolism of arsenic in primary cultures of human and rat hepatocytes. *Chem Res Toxicol*. 1999;12(7):560-5.
65. Chen YC, Guo YL, Su HJ, Hsueh YM, Smith TJ, Ryan LM, et al. Arsenic methylation and skin cancer risk in southwestern Taiwan. *J Occup Environ Med*. 2003;45(3):241-8.



66. Ahsan H, Chen Y, Kibriya MG, Slavkovich V, Parvez F, Jasmine F, et al. Arsenic metabolism, genetic susceptibility, and risk of premalignant skin lesions in Bangladesh. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 2007;16(6):1270-8.
67. Priha E, Ahonen I, Elovaara E, Mäkelä M, Oksa P. Altistuminen ja suojautuminen saastuneen maan käsittelyssä. Tampere: Työterveyslaitos; 2004.
68. Hakala E, Pyy L, Kakko K, Kerttula R, Utela J, Koponen M. Arseenialtistuminen ja sen mittaaminen Oulu: Työterveyslaitos; 1991.
69. Kiilunen M, Utela J, Rantanen T, Norppa H, Tossavainen A, Koponen M, et al. Exposure to soluble nickel in electrolytic nickel refining. *Ann Occup Hyg.* 1997;41(2):167-+.
70. Grimsrud TK, Berge SR, Resmann F, Norseth T, Andersen A. Assessment of historical exposures in a nickel refinery in Norway. *Scand J Work Env Hea.* 2000;26(4):338-45.
71. Lundgren KD. [Damage of respiratory organs in smelters]. *Nord Hyg Tidskr.* 1954;3-4:66-82.
72. Welch K, Higgins I, Oh M, Burchfiel C. Arsenic exposure, smoking, and respiratory cancer in copper smelter workers. *Arch Environ Health.* 1982;37(6):325-35.
73. Lundström N-G. Mortality and morbidity in lead smelter workers with concomitant exposure to arsenic [medical dissertations]. Umeå Umeå University; 2007.
74. Santonen T, Aitio A, Fowler B, Nordberg M. Biological monitoring and biomarkers. In: Nordberg G, Fowler B, Noerdborg M, editors. *Handbook on the Toxicology of Metals*. 1: General Considerations. 4 th ed. London: Elsevier, Academic Press; 2015. p. 155-72.
75. World Health Organization & International Programme on Chemical Safety. Biomarkers and risk assessment: concepts and principles / published under the joint sponsorship of the United Nations environment Programme, the International Labour Organisation, and the World Health Organization. Geneva: World Health Organization; 1993. 82 p.
76. Kiilunen M, Aitio A, Tossavainen A. Occupational exposure to nickel salts in electrolytic plating. *Ann Occup Hyg.* 1997;41(2):189-&.
77. Tola S, Kilpiö J, Virtamo M. Urinary and plasma concentrations of nickel as indicators of exposure to nickel in an electroplating shop. *J Occup Med.* 1979;21(3):184-8.
78. Roels H, Vandevoorde R, Vargas VMM, Lauwerys R. Relationship between Atmospheric and Urinary Nickel in Workers Manufacturing Electrical Resistances Using Nickel-Oxide - Role of the Bioavailability of Nickel. *Occup Med-Oxford.* 1993;43(2):95-104.

79. Yokota K, Johyama Y, Kunitani Y, Michitsuji H, Yamada S. Urinary elimination of nickel and cobalt in relation to airborne nickel and cobalt exposures in a battery plant. *Int Arch Occup Environ Health*. 2007;80(6):527-31.
80. Oliveira JP, de Siqueira MEPB, da Silva CS. Urinary nickel as bioindicator of workers' Ni exposure in a galvanizing plant in Brazil. *Int Arch Occ Env Hea*. 2000;73(1):65-8.
81. Sunderman FW, Jr., Aitio A, Morgan LG, Norseth T. Biological monitoring of nickel. *Toxicol Ind Health*. 1986;2(1):17-78.
82. Morgan L, Rouge P. Biological monitoring in nickel refinery workers. *IARC Sci Publ*. 1984;53:507-20.
83. Jakubowski M, Trzcinka-Ochocka M, Razniewska G, Matczak W. Biological monitoring of occupational exposure to arsenic by determining urinary content of inorganic arsenic and its methylated metabolites. *Int Arch Occ Env Hea*. 1998;71:S29-S32.
84. Offergelt JA, Roels H, Buchet JP, Boeckx M, Lauwerys R. Relation between Airborne Arsenic Trioxide and Urinary-Excretion of Inorganic Arsenic and Its Methylated Metabolites. *Brit J Ind Med*. 1992;49(6):387-93.
85. EU-OSHA. OiRA: free and simple tools for a straightforward risk assessment process: Category:Risk assessment. In: EU-OSHA an agency of the European Union, editor. 2012.
86. Hodgson A, Stradling N, Phipps A, Fell T. A simple method for assessing that internal doses are below action levels. *Radiat Prot Dosimetry*. 2007;127(1-4):382-6.
87. Hodgson MJ, Bracker A, Yang C, Storey E, Jarvis BJ, Milton D, et al. Hypersensitivity pneumonitis in a metal-working environment. *Am J Ind Med*. 2001;39(6):616-28.
88. Cherrie JW, Semple S, Christopher Y, Saleem A, Hughson GW, Philips A. How important is inadvertent ingestion of hazardous substances at work? *Ann Occup Hyg*. 2006;50(7):693-704.
89. Kromhout H, Symanski E, Rappaport SM. A comprehensive evaluation of within- and between-worker components of occupational exposure to chemical agents. *Ann Occup Hyg*. 1993;37(3):253-70.
90. Symanski E, Maberti S, Chan W. A meta-analytic approach for characterizing the within-worker and between-worker sources of variation in occupational exposure. *Ann Occup Hyg*. 2006;50(4):343-57.
91. Görner P, Simon X, Wrobel R, Kauffer E, Witschger O. Laboratory Study of Selected Personal Inhalable Aerosol Samplers. *Ann Occup Hyg*. 2010;54(2):165-87.

92. Linnainmaa M, Laitinen J, Haatainen S, Leskinen A, Piirainen J, Sippula O, et al. Standardien EN 481 ja ISO 7708 mukainen pölynäytteenkeräys: menetelmien ja laitteiden vertailu ja arviointi. Kuopio: Kuopion aluetyöterveyslaitos ja Kuopion yliopisto; 2004.
93. Vincent J. Aerosol Sampling: Science, Standards, Instrumentation and Applications. West Sussex: John Wiley; 2007.
94. Cherrie JW. The beginning of the science underpinning occupational hygiene. *Ann Occup Hyg.* 2003;47(3):179-85.
95. Lange JH. Are personal and static samples related? *Occup Environ Med.* 2003;60(3):224-5.
96. Leidel N, Busch K, Lynch J. Occupational exposure sampling strategy manual. Cincinnati: NIOSH, National Institute for Occupational Safety and Health; 1977. 150 p.
97. Säämänen A, Riipinen H, Kulmala I, Welling I. Prevention and control exchange, PACE, Pölyntorjunta, Tampere; 2004
98. EN. Workplace atmospheres. Size fraction definitions for measurement of airborne particles. European Standards, EN; 2001.
99. SFS-EN 689. Workplace exposure. Measurement of exposure by inhalation to chemical agents. Strategy for testing compliance with occupational exposure limit values. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry; 2018.
100. ISO 7708, Air quality -- Particle size fraction definitions for health-related sampling. ISO, International Organization for Standardization; 1995.
101. OSHA, Occupational Safety & Health administration. Metal & Metalloid Particulates In Workplace Atmospheres (Atomic Absorption). In: United States DoL, editor. Washington: OSHA, Occupational Safety and Health Administration; 2002.
102. The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). ELEMENTS by ICP 7303, (Hot Block/HCl/HNO<sub>3</sub> Digestion). NIOSH Manual of Analytical Methods, (NMAM). 4th edition: NIOSH; 2003.



## LIITE1

### BIOLOGISEN ALTISTUSKOEEN TOIMENPIDERAJAN YLITYS - YLITYSKESKUSTELU

Aika: \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 20\_\_\_\_ Paikka: \_\_\_\_\_

Läsnä: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Altistunut henkilö: \_\_\_\_\_

Näytteenottopäivä: \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 200\_\_\_\_

Osasto: \_\_\_\_\_

Näytteenottopäivä: \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 20\_\_\_\_

Edellinen ylityskeskustelu ja sen aika: ensimmäinen \_\_\_\_\_, toinen \_\_\_\_\_, kolmas \_\_\_\_\_, jne.  
Aika \_\_\_\_\_, 20\_\_\_\_

Työtehtävät, joissa altistunut henkilö työskenteli: \_\_\_\_\_

Työtehtävien tarkempi kuvaus: \_\_\_\_\_

Käytössä olleet suojaimet: \_\_\_\_\_

Suojaimen käyttöaika: \_\_\_\_\_ % työajasta

Altistumisen todennäköinen syy: \_\_\_\_\_

(esim. hengityssuojaimen käytön laiminlyönti, likaisin käsin tupakointi, työvaatetus / kädet likaiset ruokaillessa, hengityssuojain vioittunut/likainen, henkilökohtainen hygienia puutteellinen, työvaatetus puutteellinen, työ vaatii toisenlaiset suojaimet)

Toimenpiteet, mahdollinen kontrollinäyte: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ssa, \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 20\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
työnantajan edustaja

\_\_\_\_\_  
työntekijä

\_\_\_\_\_  
työterveyshuollon edustaja

Tutkimuksessa selvitettiin työntekijöiden altistumista nikkeli- ja arseeni- ja molybdeenitöihin 1980-luvulta alkaen yhdistämällä eri rekisteritietoja. Tietoja tarkasteltiin myös syöpärekisteristä työperäisten sairauksien rekisteristä. Tuloksista havaitaan altistumisen laskeva suuntaus kaikilla osastoilla niin arseenin kuin nikkelin suhteen. Altistumis- ja sairastumistietojen perusteella laskettiin syöpäkohortti osastoittain, altistumisajoittain, altistumistasoittain ja tupakointi huomioiden. Kohonnutta riskiä ei tässä tutkimuksessa löydetty minkään edellä mainitun tekijän suhteen. Hankkeessa kehitettiin edelleen ns. Harjavallan mallia, jossa biomonitorointinäytteen tuloksen ylittäessä ohjeraja-arvon joutuu työntekijä keskustelemaan työtavoista ja työhygieniasta esimiehen kanssa. Näissä keskusteluissa pyritään löytämään syyt poikkeavaan altistumiseen. Tämä malli on hyödynnettävissä muillakin työpaikoilla, joilla altistutaan terveydelle vaarallisille kemikaaleille.



Työsuojelurahasto  
Arbetskyddsfonden  
The Finnish Work Environment Fund

**NEW BOLIDEN**



**NORNICKEL**

HARJAVALTA

Työterveyslaitos  
Arbetshälsoinstitutet  
Finnish Institute of Occupational Health

PL 40, 00032 Työterveyslaitos

[www.ttl.fi](http://www.ttl.fi)

ISBN 978-952-261-876-4 (nid.)

ISBN 978-952-261-877-1 (PDF)